

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

ANÁLISIS DE PARÁMETROS BIOMECÁNICOS DURANTE
LA RECEPCIÓN EN COLCHONETAS Y SU INFLUENCIA
EN LOS MECANISMOS DE LESIÓN EN GIMNASIA
DEPORTIVA

PEDRO PÉREZ SORIANO

UNIVERSITAT DE VALENCIA
Servei de Publicacions
2004

Aquesta Tesi Doctoral va ser presentada a València el día 30 de Març de 2004 davant un tribunal format per:

- D. José Campos Granell
- D. Gabriel Brizuela Costa
- D^a. Amelia Ferro Sánchez
- D. Juan Vicente Durá Erc
- D^a. Ana Cruz García Berenguer

Va ser dirigida per:

D. Salvador Llana Belloch

D. Enrique Alcántara Alcover

©Copyright: Servei de Publicacions
Pedro Pérez Soriano

Depòsit legal:

I.S.B.N.:84-370-6081-8

Edita: Universitat de València
Servei de Publicacions
C/ Artes Gráficas, 13 bajo
46010 València
Spain
Telèfon: 963864115

VNIVERSITAT Đ VALÈNCIA



**“ANÁLISIS DE PARÁMETROS
BIOMECÁNICOS DURANTE LA RECEPCIÓN
EN COLCHONETAS Y SU INFLUENCIA EN
LOS MECANISMOS DE LESIÓN EN
GIMNASIA DEPORTIVA”**

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

PEDRO PÉREZ SORIANO.

Codirigida por:

D. ENRIQUE ALCÁNTARA ALCOVER.

D. SALVADOR LLANA BELLOCH.

Valencia 2004

UNIVERSIDAD DE VALENCIA



PROGRAMA DE DOCTORADO 987-122 A

EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTES



TESIS DOCTORAL

**“ANÁLISIS DE PARÁMETROS BIOMECÁNICOS DURANTE LA RECEPCIÓN
EN COLCHONETAS Y SU INFLUENCIA EN LOS MECANISMOS DE LESIÓN
EN GIMNASIA DEPORTIVA”**

Pedro Pérez Soriano

DIRECTORES DE LA TESIS

Dr. D. Enrique Alcántara Alcover.

Prof. Dr. D. Salvador Llana Belloch.

TUTOR DE LA TESIS

Prof. Dr. D. Carlos Pablos Abella.

D. **Enrique Alcántara Alcover**, PHD por la Universidad de Middlesex y responsable de la sección de material y equipamiento para deporte y ocio del Instituto de Biomecánica de Valencia, y D. **Salvador Llana Belloch**, Doctor por la Universidad de Valencia y profesor en el departamento de Educación Física de la Universidad de Valencia,

HACEN CONSTAR: Que la presente Tesis Doctoral titulada: “**Análisis de parámetros biomecánicos durante la recepción en colchonetas y su influencia en los mecanismos de lesión en gimnasia deportiva**”, cuyo autor es D. **Pedro Pérez Soriano**, ha sido realizada bajo su dirección y reúne, a su juicio, las condiciones requeridas para que pueda optar al grado de Doctor.

Valencia, Junio de 2004.

Fdo. Enrique Alcántara Alcover

Fdo. Salvador Llana Belloch

TRIBUNAL

Presidente.- JOSÉ CAMPOS GRANELL (U.V).

Secretaria.- ANA CRUZ GARCÍA BELENGUER (I.B.V).

Vocal titular.- JUAN VICENTE DURÀ GIL (I.B.V).

Vocal titular.- GABRIEL ALBERTO BRIZUELA COSTA (U.V).

Vocal titular.- AMELIA FERRO SÁNCHEZ (C.A.R.I.C.D. – C.S.D).

Vocal suplente.- MIKEL IZQUIERDO REDÍN (U.L).

Vocal suplente.- JUAN MOROTE SARRIÓN (U.C.V).

Vocal suplente.- XAVI AGUADO JODAR (U.C.L).

Vocal suplente.- ROBERTO FERRANDIS FERRER (I.B.V).

Vocal suplente.- VICTOR TELLA MUÑOZ (U.V).

A todas las personas que han permitido
poder realizar esta Tesis Doctoral.

AGRADECIMIENTOS

En la presente Tesis Doctoral han participado y colaborado una serie de personas y entidades sin las cuales no se hubiera podido desarrollar. A todos y cada uno de ellos deseo expresar desde aquí mi más profundo y sincero agradecimiento:

- A mis directores de Tesis, el Dr. Enrique Alcántara y el Dr. Salvador Llana, en primer lugar por su paciencia conmigo (a veces ilimitada), confianza y desinteresado tiempo empleado en ayudarme, formarme y transmitirme sus múltiples conocimientos. Y en segundo lugar por su contribución decisiva y fundamental en la expresión de las ideas que aparecen en el texto, su estructura y redacción.
- A todos los compañeros y amigos del grupo “*deportivo*” en el IBV, por su ayuda y colaboración en cualquier necesidad o problema que he tenido, y muy especialmente a: José Ramiro, Juan Carlos González, Roque, Lirios Dueñas, Paula, Roberto Ferrandis, David Rosa y Clara, así como a mis compañeros “*de seminario*”, Manolo, Javi y en especial a Tomás Ovejero por su ayuda en incontables dudas.
- Al resto de compañeros del IBV, Carolina, Andrés, Carmina,... y especialmente a la sección de instrumentación y de los laboratorios, que han contribuido en la construcción y puesta a punto de gran parte de los instrumentos utilizados para llevar a cabo este trabajo, entre quienes quiero destacar a José Montero, Amelia Gómez, Manuel Villanueva y David.
- Al Dr. Juan Vicente Durà, por ser la primera persona que depositó en mí su confianza tras escogerme como becario en el IBV. A sus consejos, paciencia y transmisión de conocimientos en el área de la biomecánica.
- Al Dr. Gabriel Brizuela, por iniciarme, motivarme y enseñarme en el estudio de la biomecánica deportiva, así como por su sinceridad y consejo en todo aquello que le he pedido.
- A la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de Valencia, por su apoyo institucional, material y humano en cuantas cosas he necesitado. Y muy especialmente por la formación académica recibida durante mis estudios de Licenciado en E. Física.
- A la recientemente erigida Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”, por confiar y contar conmigo como docente en el inicio de esta nueva Universidad, su apoyo institucional y apoyo a la investigación en materia deportiva.

- A las empresas Toldos Serrano S.L. (Tatam Sport) y Zfoam por su apoyo a la investigación y desarrollo en materia de colchonetas para la gimnasia, mejorando así la seguridad y el rendimiento deportivo de los gimnastas.
- A todos y cada una de las instituciones, gimnastas, técnicos, entrenadores y personal técnico que participaron en esta Tesis.
- Con cariño y, muy especialmente ;
 - A toda mi familia, sobre todo mis padres y hermanos (Ali y Adrián), que a pesar de estar fuera de casa me han apoyado siempre en todas y cada una de las cosas que me he propuesto, tanto en mi vida personal como profesional.
 - A Eva, mi mujer y mejor amiga, por su tiempo y apoyo incondicional en todo lo que me proponga y realice, por su sinceridad y modo de ver las cosas así como su ayuda en aquellos más momentos difíciles.

1.2.4.3.- Análisis biomecánico de la recepción en los criterios de las colchonetas.....	47
1.2.4.4.- Metodología de análisis de las colchonetas mediante ensayos con gimnastas.....	49
1.2.4.5.- Conclusiones a la biomecánica de la recepción.....	55
1.2.5.- Conclusiones al estado del arte.....	55
1.3. - Objetivos de la tesis.....	57
1.4.- Plan de trabajo.....	58
2.- MATERIAL Y MÉTODOS.....	61
2.1.- Estudios de opinión-identificación de especificaciones.....	63
2.1.1.- Aspectos analizados.....	63
2.1.2.- Técnicas de medida utilizadas.....	63
2.1.2.1.- Descripción de la metodología QFD.....	63
2.1.2.2.- Paneles de usuarios y expertos.....	64
2.1.3.- Diseño de experiencias: estudios de opinión – identificación de especificaciones.....	67
2.1.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	68
2.2.- Estudios mecánicos.....	69
2.2.1.- Aspectos analizados.....	69
2.2.2.- Instrumentos de medida utilizados.....	69
2.2.3.- Diseño de experiencias: ensayos mecánicos.....	71

2.2.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	75
2.3.- Estudios biomecánicos	76
2.3.1.- Diseño de experiencias.....	76
2.3.1.1.- Estudios y variables de análisis durante la recepción.....	76
2.3.1.2.- Descriptivos de la muestra de gimnastas.....	77
2.3.1.3.- Protocolo de salto sobre la colchoneta empleado.....	77
2.3.2.- Estudios de presurometría.....	81
2.3.2.1.- Aspectos analizados.....	81
2.3.2.2.- Instrumentos de medida utilizados.....	81
2.3.2.3.- Diseño de experiencias.....	83
2.3.2.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	84
2.3.3.- Estudios de dinamometría y acelerometría.....	86
2.3.3.1.- Aspectos analizados.....	86
2.3.3.2.- Instrumentos de medida utilizados.....	86
2.3.3.3.- Diseño de experiencias.....	90
2.3.3.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	91
2.3.4.- Estudios de electrogoniometría.....	93
2.3.4.1.- Aspectos analizados.....	93
2.3.4.2.- Instrumentos de medida utilizados.....	93
2.3.4.3.- Diseño de experiencias.....	94

2.3.4.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	95
2.3.5- Estudios de percepción.....	97
2.3.5.1.- Aspectos analizados.....	97
2.3.5.2.- Técnicas de medida utilizadas.....	97
2.3.5.3.- Diseño de experiencias.....	97
2.3.5.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	98
3.- RESULTADOS.....	99
3.1.- Estudios de opinión-identificación de especificaciones.....	101
3.1.1.- Resultados obtenidos en los paneles: familias “QUÉS” y familias “CÓMO”.....	101
3.1.2.- Sinergias y conflictos entre “QUÉ” y “CÓMO”: “Casa de la calidad”.....	105
3.2.- Estudios mecánicos.....	108
3.2.1.- Comportamiento homogéneo de las colchonetas de nueva estructura.....	108
3.2.2.- Situación actual de la muestra de colchonetas frente a la norma EN 12503.....	112
3.2.3.- Selección de colchonetas para el estudio biomecánico de la recepción...	117
3.3.- Estudios biomecánicos.	121
3.3.1.- Estudios de presurometría.....	121
3.3.1.1.- Análisis exploratorio.	121
3.3.1.2.- Descripción del patrón de recepción realizado por los gimnastas.	121

3.3.1.3.- Comparación entre las medias por zona (Anova).....	122
3.3.1.4.- Análisis factorial.....	123
3.3.2.- Estudios de dinamometría y acelerometría.....	126
3.3.2.1.- Estudios de acelerometría.....	126
3.3.2.2.- Estudios de dinamometría.....	132
3.3.2.3.- Coeficiente de transmisión de impactos.....	135
3.3.2.4.- Análisis factorial de las componentes principales.....	138
3.3.3.- Estudios de electrogoniometría.....	140
3.3.3.1.- Articulación coxo-femoral (cadera).....	140
3.3.3.2.- Articulación de la rodilla.....	143
3.3.3.3.- Complejo articular tobillo-subastragalina	146
3.3.3.4.- Análisis factorial de componentes principales.....	155
3.3.4.- Estudios de percepción.....	158
3.4.- Análisis conjunto de los resultados; estudios mecánicos, biomecánicos y de percepción.....	161
3.4.1.- Resultados de correlación entre variables de un mismo estudio.....	161
3.4.2- Resultados de correlación entre variables mecánicas con percepción, biomecánicas y mecánicas, y biomecánicas con percepción.....	163
4.- DISCUSIÓN.....	166
4.1.- Aspectos más importantes en las propiedades y características de una colchoneta.....	167

4.2.- Validez de los ensayos normativos para predecir los mecanismos de lesión.....	171
4.2.1.- Descripción biomecánica de la recepción.....	171
4.2.2.- Análisis de los principales mecanismos de lesión durante la recepción....	174
4.2.3.- Validez de los criterios y de la metodología de ensayo según norma.....	177
5.- CONCLUSIONES.....	180
5.1.- Conclusiones metodológicas.....	181
5.2.- Conclusiones derivadas de los resultados.....	182
5.2.1.- Aspectos y propiedades más importantes en una colchoneta.....	182
5.2.2.- Biomecánica de la recepción y análisis de los principales mecanismos de lesión.....	182
5.2.3.- Validez de los ensayos normativos para prevenir los mecanismos de lesión.....	183
5.3.- Futuras líneas de investigación.....	184
6.- BIBLIOGRAFÍA.....	186
6.1.- Bibliografía citada.....	187
6.2.- Normativa citada.....	195
6.3.- Bibliografía consultada.....	196
7.- ANEXOS.....	201
Anexo 1.- Gimnastas, entrenadores y técnicos que participaron en los paneles de usuarios y expertos.....	202
Anexo 2.- Encuesta utilizada en los ensayos biomecánicos.....	203
Anexo 3.- Valores medios de presión de cada zona del pie por colchoneta.....	205

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.- Frecuencia de lesión por zonas y sexo.

Figura 2.- “Drop Jump” (Bauer y cols., 2001).

Figura 3.- Superficie puntoelástica y areaelástica.

Figura 4.- Dimensiones colchonetas para aparatos de Gimnasia Masculina (MAG). FIG. 2000.

Figura 5.- Dimensiones colchonetas para aparatos de Gimnasia Femenina (WAG). FIG. 2000.

Figura 6.- Distribución de los señaladores de medición en la colchoneta (F.I.G., 2000).

Figura 7.- Características del impactador EN 12503-4.

Figura 8.- Distribución de los señaladores de medición en la colchoneta. EN 12503.

Figura 9.- Esquema del instrumental necesario para el ensayo de absorción de impactos. EN 12503.

Figura 10.- Instrumental de análisis base de fricción. EN 12503.

Figura 11.- Instrumental de análisis superficie de fricción. EN 12503.

Figura 12.- Instrumental deformación estática. EN 12503.

Figura 13.- Atleta Artificial.

Figura 14.- Esquema del instrumental necesario para realizar un estudio cinemático mediante técnicas de fotogrametría – vídeo 3D (modificado de Vera y Hoyos. 1993).

Figura 15.- Segmentación del pie de análisis (Arampatzis y cols., 2002).

Figura 16.- Esquema del instrumental necesario para realizar un estudio cinético mediante plataformas de fuerza DINSACAN/IBV (Vera y Hoyos., 1993).

Figura 17.- Esquema del instrumental necesario para realizar un estudio de Acelerometría con dos acelerómetros, uno en la tibia y otro en la cabeza, y adquisición de la señal por telemetría (modificado de Vera y Hoyos., 1993).

Figura 18.- Esquema de un sistema de electrogoniometría (modificado de Vera y Hoyos, 1993).

Figura 19.- Esquema del instrumental necesario para el ensayo de absorción de impactos. EN 12503.

Figura 20.- Zonas de impacto en la colchoneta de nuevo diseño.

Figura 21.- Esquema del instrumental necesario para analizar las presiones plantares mediante una plantilla instrumentada Biofoot/IBV (Vera y Hoyos, 1993).

Figura 22.- Zonas del pie para los estudios de presurometría.

Figura 23.- Esquema de funcionamiento plataforma dinamométrica Dinascan/IBV.

Figura 24.- Ubicación de los electrogoniómetros en el estudio realizado (extraído de Manual Biometrics Ltd).

Figura 25.- Segmentación del pie en 4 zonas de análisis.

Figura 26.- Esquema gráfico de las fases durante la recepción.

Figura 27.- Parámetros analizados en la articulación coxo-femoral (cadera).

Figura 28.- Parámetros analizados en la articulación de la rodilla.

Figura 29.- Parámetros analizados en el movimiento de Flexo/Extensión del tobillo.

Figura 30.- Parámetros analizados en el movimiento de prono/supinación subastragalina.

Figura 31.- Fases durante la recepción a una colchoneta tras un “drop jump”.

ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Gráfica 1.- Trazado de las fuerzas de reacción del suelo tras una recepción (Bauer y cols., 2001).

Gráfica 2.- Trazado de las fuerzas de reacción del suelo resultantes en la articulación de la cadera (Bauer y cols., 2001).

Gráfica 3.- Fuerzas de reacción del suelo producidas en articulaciones de la extremidad inferior al saltar sobre diversas colchonetas (Altura: 100mm; $K_a=1.0$ Nm/deg; $K_k=1.0$ Nm/deg; $K_h=1.0$ Nm/deg; $\theta_{AO}=90$ deg; $\theta_{k0}=90$ deg; $\theta_{ho}=90$ deg) (Gatto y cols., 1991).

Gráfica 4.- Fuerzas de reacción en el suelo en diferentes tipos de recepción (BN; salto natural, flexionando las rodillas y las manos sobre la cabeza. SN; salto sin ningún tipo de flexión. SP; sin flexionar rodilla, solo músculos de los dedos y pantorrilla. SH; sin flexionar rodilla y con en pié lo más plano posible)(Brian y cols., 2000).

Gráfica 5.- Fuerzas de reacción en la pierna para un doble salto mortal asimétrico (Panzer y cols., 1987).

Gráfica 6.- (A) Comparación de las fuerzas de reacción vertical tras las recepciones en una superficie dura (hard) y flexible (soft) en un salto vertical. (B) Fase de absorción de impacto y equilibrio posterior (A_x)(Less. 1981).

Gráfica 7.- Eversión vs Inversión, flexión-dorsal vs flexión-plantar y abducción vs aducción de las articulaciones tibiotalar, talonavicular y calcaneocuboidea en recepciones desde 80cm sobre colchonetas duras (Arampatzis y cols., 2002).

Gráfico 8.- Influencia en la aceleración que sufren distintos segmentos corporales al recepcionar sobre distintas superficies Dura/Blanda (Less, 1981).

- Gráfica 9.- Tiempo y fuerzas de reacción en dos colchonetas (dura y blanda) desde diferentes alturas de recepción (McNitt-Gray y cols., 1993).
- Gráfica 10.- Momentos de fuerza y Energía muscular en cadera, rodilla y tobillo generados al recepcionar en superficies de distinta dureza (K1; 49'0KN/m, K2, 392'0 KN/m) (Fukuda, 1988).
- Gráfica 11.- Dispersión deceleración-deformación.
- Gráfica 12.- Dispersión devolución de energía-deceleración.
- Gráfica 13.- Dispersión deceleración-devolución de energía.
- Gráfico 14.- Valores medios de deceleración en las dos zonas de impacto.
- Gráfico 15.- Valores medios de deformación en las dos zonas de impacto.
- Gráfico 16.- Valores medios de devolución de energía en las dos zonas de impacto.
- Gráfica 17- Dispersión deceleración -deformación.
- Gráfica 18.- Dispersión deformación-devolución de energía.
- Gráfica 19.- Dispersión deceleración-devolución de energía.
- Gráfico 20.- Valores medios y error de deceleración en cada colchoneta.
- Gráfico 21.- Valores medios y error de deformación en cada colchoneta.
- Gráfico 22.- Valores medios y error de devolución de energía en cada colchoneta.
- Gráfico 23.- Distribución de grupos en base a la dispersión de las medias de deceleración (G) y deformación (D).
- Gráfica 24.- Colchonetas seleccionadas.
- Gráfica 25.- Medias de presión por zonas del pie.
- Gráfica 26.- Medias de presión en colchonetas C1, C2 y C3.
- Gráfica 27.- Medias de presión en colchonetas C4, C5 y C6.
- Gráfica 28.- Gráfica temporal de las aceleraciones medidas en la tibia.
- Gráfico 29.- Valores medios para el 2MAXAT.
- Gráfico 30.- Valores medios para el 2TMAXAT.
- Gráfica 31.- Gráfica temporal de las aceleraciones medidas en la cabeza.
- Gráfico 32.- Valores medios para 1MAXAC.
- Gráfico 33.- Valores medios para 1TMAXAC.
- Gráfico 34.- Valores medios para 2MAXAC.
- Gráfico 35.- Valores medios para 2TMAXAC.

Gráfica 36.- Gráfica temporal de las fuerzas verticales de reacción en función del tiempo.

Gráfico 37.- Valores medios para el máximo de la componente vertical de las fuerzas de reacción.

Gráfico 38.- Valores medios para tiempo del máximo de las fuerzas de reacción.

Gráfica 39.- Media de las veces que soporta el gimnasta su peso en cada colchoneta.

Gráfico 40.- Valores medios para coeficientes de transmisión de las fuerzas de impacto en tibia.

Gráfico 41.- Valores medios para coeficientes de transmisión de las fuerzas de impacto en cabeza.

Gráfico 42.- Valores medios para los coeficientes de transmisión de aceleración de tibia a cabeza.

Gráfica 43.- Gráfica temporal de la flexo/extensión de cadera.

Gráfica 44.- Valores medios de °MX2CA.

Gráfica 45.- Gráfica temporal flexo/extensión de rodilla.

Gráfico 46.- Valores medios para °MX1RO.

Gráfico 47.- Valores medios para °MX2RO.

Gráfico 48.- Valores medios para °MNRO.

Gráfica 49.- Gráfica temporal flexo/extensión de tobillo.

Gráficas 50.- Valores medios de °MNF/ET.

Gráfica 51.- Gráfica temporal prono/supinación subastragalina.

Gráfico 52.- Valores medios para °MX1P/ST.

Gráfico 53.- Valores medios para °MX2P/ST.

Gráfico 54.- Valores medios para °MX3P/ST.

Gráfico 55.- Valores medios para °MNP/ST.

Gráfico 56.- Valores medios para TMNP/ST.

Gráfico 57.- Histograma deformación.

Gráfico 58.- Histograma abrasión.

Gráfico 59.- Histograma devolución de energía.

Gráfico 60.- Histograma estabilidad.

Gráfico 61.- Velocidad de recuperación.

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.- Clasificación de las colchonetas FIG (1994) en función de sus dimensiones y criterios normativos.

Tabla 2.- Criterios normativos F.I.G en las colchonetas de 20 cm.

Tabla 3.- Criterios normativos F.I.G en las colchonetas de 10 cm.

Tabla 4.-Criterios de seguridad para colchonetas de gimnasia. EN 12503 –1.

Tabla 5.- Características de la suela de goma. EN 12503.

Tabla 6.- Aceleraciones en tibia-cabeza y ángulos de flexión en cadera, rodilla y tobillo en diferentes superficies (Durá y cols., 1999).

Tabla 7.- Muestra de los paneles de usuarios y expertos realizados.

Tabla 8.- Características de la capa superior, coquillas y capa entre coquillas.

Tabla 9.- Muestra de las colchonetas seleccionadas para ensayos mecánicos.

Tabla 10.- Nivel deportivo y especialidades de los gimnastas.

Tabla 11.- Grupos de familias.

Tabla 12.- Acabado superficial.

Tabla 13.- Deformación y devolución de energía.

Tabla 14.- Color y brillo.

Tabla 15.- Acabados.

Tabla 16.- Uso.

Tabla 17.- Propiedades de la superficie.

Tabla 18.- Propiedades materiales.

Tabla 19.- Diseño estructural.

Tabla 20.- Diseño estético.

Tabla 21.- Acabados.

Tabla 22.- Resultados en la interacción entre QUÉS y CÓMOS: casa de la calidad.

Tabla 23.- Valores medios de deceleración por zonas de impacto.

Tabla 24.- Valores medios de deformación por zonas de impacto.

Tabla 25.- Valores medios de devolución de energía por zonas de impacto.

Tabla 26.- Límites normativos EN 12503 para la clasificación de las colchonetas.

Tabla 27.- Valores medios y error de deceleración, deformación y devolución de energía en cada colchoneta.

Tabla 28.- Resultados ensayos mecánicos de las colchonetas seleccionadas y criterios EN 12503.

Tabla 29.- Grupos de colchonetas ordenados en función de los resultados obtenidos en deceleración y deformación.

Tabla 30.- Colchonetas con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para las diferentes zonas del pie analizadas.

Tabla 31.- Análisis factorial: Comunalidades.

Tabla 32.- Varianza total explicada.

Tabla 33.- Matriz de componentes rotados.

Tabla 34.- Presiones medias en zonas de estudio.

Tabla 35.- Valores medios y tiempos para el segundo máximo de aceleración en tibia.

Tabla 36.- Valores medios y tiempos para el primer y segundo máximo de aceleración en cabeza.

Tabla 37.- Valores medios y tiempos para el máximo de la componente vertical de las fuerzas de reacción.

Tabla 38.- Grupos homogéneos con diferencias significativas ($p < 0.05$) de la muestra de colchonetas en las variables de acelerometría y dinamometría.

Tabla 39.- Valores medios para los coeficientes de transmisión de las fuerzas de impacto en tibia.

Tabla 40.- Valores medios para los coeficientes de transmisión de las fuerzas de impacto en cabeza.

Tabla 41.- Valores medios para los coeficientes de transmisión de aceleración de tibia a cabeza.

Tabla 42.- Grupos homogéneos con diferencias significativas ($p < 0.05$) en los distintos coeficientes de transmisión analizados.

Tabla 43.- Análisis factorial: comunalidades acelerometría y dinamometría.

Tabla 44.- Matriz de componentes rotados y varianza explicada por cada componente.

Tabla 45.- Valores medios y tiempos para la variable flexo-extensión cadera.

Tabla 46.- Valores medios y tiempos para la variable flexo/extensión rodilla.

Tabla 47.- Parámetros con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la variable flexo/extensión de rodilla.

Tabla 48.- Valores medios y tiempos para la variable flexo/extensión tobillo.

Tabla 49.- Diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en el parámetro °MNF/ET de la variable flexo/extensión de tobillo.

Tabla 50.- Valores medios y tiempos para la variable prono/supinación subastragalina.

Tabla 51.- Parámetros con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la variable prono/supinación subastragalina.

Tabla 52.- Grupos homogéneos en la articulación de la cadera.

Tabla 53.- Grupos homogéneos en la articulación de la rodilla.

Tabla 54.- Grupos homogéneos en el movimiento de Flexo/Extensión de la articulación tibio-tarsiana.

Tabla 55.- Grupos homogéneos en el movimiento de Prono/Supinación de la articulación del subastragalina.

Tabla 56.- Análisis factorial: comunalidades electrogoniometría.

Tabla 57.- Matriz de componentes rotados y varianza explicada por cada componente en electrogoniómetros.

Tabla 58.- Media, moda, desviación típica y coeficiente de variación de las variables de percepción analizadas.

Tabla 59.- Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis. Estadísticos de contraste.

Tabla 60.- Orden en la percepción de las variables analizadas.

Tabla 61.- Correlaciones no paramétricas de Spearman (* $p < 0.05$ y ** $p < 0.01$).

ÍNDICE DE FOTOS.

Foto 1.- Gimnasia deportiva.

Foto 2.- Panel de usuarios y expertos en el CAR de Madrid.

Foto 3.- CAR Sant Cugat.

Foto 4.- Guiado del impactador y PC de adquisición.

Foto 5.- Composición de las colchonetas de nuevo diseño y funda.

Foto 6.- Coquillas.

Foto 7.- Ensayos biomecánicos. Laboratorio IBV.

Foto 8.- "Drop jump" modificado para el estudio con instrumental.

Foto 9.- Instrumentación del gimnasta.

Foto 10.- Mesa de adquisición de datos.

Foto 11.- Zapatilla empleada en los ensayos de presurometría.

Foto 12.- Componentes del Biofoot IBV/ 2001.

Foto 13.- Instrumentación del gimnasta con Biofoot/IBV 2001.

Foto 14.- Plataforma dinamométrica.

Foto 15.- Acelerómetro en tibia.

Foto 16.- Equipo de Telemetría.

Foto 17.- Instrumentación de los acelerómetros en los gimnastas.

Foto 18.- Instrumentación mochila y cableado.

Foto 19.- Colchoneta sobre plataforma dinamométrica.

Foto 20.- Instrumentación de los electrogoniómetros.

Foto 21.- Mochila para la instrumentación de los electrogoniómetros y equipo receptor.

ÍNDICE DE DIAGRAMAS.

Diagrama 1.- Relación entre las colchonetas y las recepciones en gimnasia.

Diagrama 2.- Epidemiología y papel desempeñado por las colchonetas.

Diagrama 3.- Normativa en materia de colchonetas y posibilidades de incorporar estudios biomecánicos.

Diagrama 4.- Estudio biomecánico de la recepción.

Diagrama 5.- Plan de trabajo.

ANEXOS.

Anexo 1.- Gimnastas, entrenadores y técnicos que participaron en los paneles de usuarios y expertos.

Anexo 2.- Encuesta utilizada en los ensayos biomecánicos.

Anexo 3.- Valores medios de presión de cada zona del pie por colchoneta.

1.- INTRODUCCIÓN.

1.1.- ORIGEN DE LA TESIS

Si bien el inicio de este trabajo de investigación fue a partir de mi entrada en el IBV (Instituto de Biomecánica de Valencia) como becario, los antecedentes que me orientaron hacia la docencia e investigación en el mundo de la actividad física y el deporte poseen un punto de partida anterior.

Desde temprana edad, mi tiempo de ocio ha estado vinculado a la actividad física y la práctica deportiva (fútbol, judo, ciclismo, triatlón, etc...), lo cual fue el motivo fundamental de mi elección por los estudios de Licenciado en Educación Física. Dado que pienso, que todo ámbito profesional debería estar dirigido hacia un área o campo de conocimiento que fuera motivante y atractivo, en mi caso particular iba a estar dirigiéndolo hacia el área de la actividad física y el deporte.

Fue durante mi estancia en la Facultad de Educación Física y el Deporte de la Universidad de Valencia cuando tuve los primeros contactos con la biomecánica, principalmente de dos fuentes distintas: la primera fue la asignatura de “Biomecánica del movimiento” y el curso de doctorado “Métodos de investigación en Biomecánica deportiva”, impartidos por el profesor, y actualmente amigo, el Dr. D. Gabriel A. Brizuela. La segunda fuente de contacto (aunque tuvo una menor duración), fue la asignatura de “Biomecánica del triatlón” impartida por la Dr. Dña. Amelia Ferro y cursada durante los estudios de entrenador nacional de Triatlón.

No obstante, la mayor aportación hacia la aplicación práctica y formación investigadora en el mundo de la biomecánica deportiva se produjo cuando fui elegido por el Dr. D. J. V. Durà en el año 2000 como becario colaborador en el IBV, centro de investigación y formación donde se desarrollan las tres grandes áreas de aplicación de la biomecánica; la biomecánica deportiva, médica y ocupacional. Mi incorporación al IBV fue dentro del grupo de Biomecánica Deportiva, en la sección de Material y Equipamiento deportivo, para formar parte en una nueva línea de investigación abierta en materia de colchonetas para la gimnasia deportiva (además de estar vinculado y participar en otros proyectos dentro del mismo grupo). Durante mi primer año en el IBV pude adquirir experiencia en la metodología, herramientas y manera de trabajar de este centro en proyectos relacionados con material y equipamiento deportivo, tales como pavimentos y calzado.

Dada las amplias posibilidades de investigación que ofrecía el IBV, la financiación del proyecto “*Generación de criterios de diseño en colchonetas de Gimnasia*” por parte de las empresas Toldos Serrano S.L y Z-Foam S.L, así como la dedicación, y cada vez más motivación por el tema, fueron los factores que decantaron mi elección del trabajo realizado sobre las colchonetas de gimnasia como futuro proyecto de investigación en los estudios de doctorado.

Finalizados los cursos de doctorado y habiendo obtenido el D.E.A (Diploma de Estudios Avanzados), las futuras líneas de investigación dejadas abiertas en el citado proyecto fueron cada vez más atractivas, y al ofrecerme la posibilidad de hacerme cargo de ellas mi responsable en el IBV y actual codirector de esta Tesis Doctoral el Dr. D. Enrique Alcantara, junto con el Dr. D. Salvador Llana, decidí desarrollar mi propia Tesis Doctoral en base a este proyecto.

1.2.- ESTADO DEL ARTE

1.2.1.- INTRODUCCIÓN AL ESTADO EL ARTE.



Dentro de los ámbitos científicos y deportivos, en el siguiente apartado se muestra cual es el estado actual de conocimiento y experiencia teórico-práctica en materia de colchonetas para la gimnasia deportiva, así como los aspectos relacionados con el gesto técnico de la recepción tras la ejecución de los ejercicios gimnásticos.

Pese a que es abundante la literatura sobre la ejecución de las diferentes habilidades gimnásticas, analizándose tanto las fases de entrada al aparato y vuelo del gimnasta (Gervais, 1993; Brueggemann, 1994; Huaiying, y cols, 1995; McLaughlin, y cols, 1995), como el estudio de la fase de recepción sobre la colchoneta (Devita, y cols, 1991; McNitt-Gray, y cols.1993; McNitt-Gray, y cols. 1994; Brian y cols, 2001; Arampatzis, y cols, 2002), los estudios que se han centrado en las características y propiedades de las colchonetas son menos numerosos.

- **La recepción en gimnasia deportiva.**

La gimnasia deportiva (foto 1), junto al atletismo y la natación es una de las modalidades más populares dentro del programa olímpico, y al igual que ocurre en otros deportes la edad de iniciación de los deportistas (cada vez más temprana), la frecuencia, la duración y la intensidad en la carga de los entrenamientos son factores que han ido aumentando para obtener el máximo rendimiento deportivo. Si consideramos que la media de preparación de un gimnasta hasta alcanzar los máximos niveles deportivos es de 11-12 años, que un año de entrenamiento puede significar entre 300/310 días de trabajo, que un día de



entrenamiento puede tener 2 ó 3 sesiones y con un total de 1000/1500 horas al año de entrenamiento año (Caine y cols., 1996), es de suponer, que tales intensidades y volúmenes de entrenamiento necesitan que la preparación de los gimnastas sea cuidada hasta el más mínimo detalle, incluyendo la seguridad y la protección frente a lesiones.

Foto 1.- Gimnasia deportiva.

Durante los entrenamientos, los gimnastas realizan diversos ejercicios en diferentes aparatos tales como; caballo, paralelas, barra fija, asimétricas, etc., teniendo como característica común todos ellos, la recepción o aterrizaje de los gimnastas en su llegada al suelo. Esta fase de recepción, realizada tanto en la salida de los aparatos como en la ejecución de los saltos, puede considerarse como una de las más importantes, tanto desde el punto de vista del rendimiento, pues influye en la buena puntuación de la ejecución final en la competición, como desde la protección del gimnasta ya que es en esta fase donde se localiza el mayor índice de lesiones.

El gesto técnico de la recepción consiste en amortiguar el impacto tras contactar con el suelo e incorporar el cuerpo en posición vertical en el momento que se coloca la mitad de la planta del pie en el suelo, tratando de bajar el centro de peso del cuerpo de manera controlada. No obstante, la recepción no se realiza directamente sobre el suelo sino que existe un elemento, como es la colchoneta, que evita el contacto directo con éste y reduce las elevadas fuerzas de impacto generadas (diagrama 1).

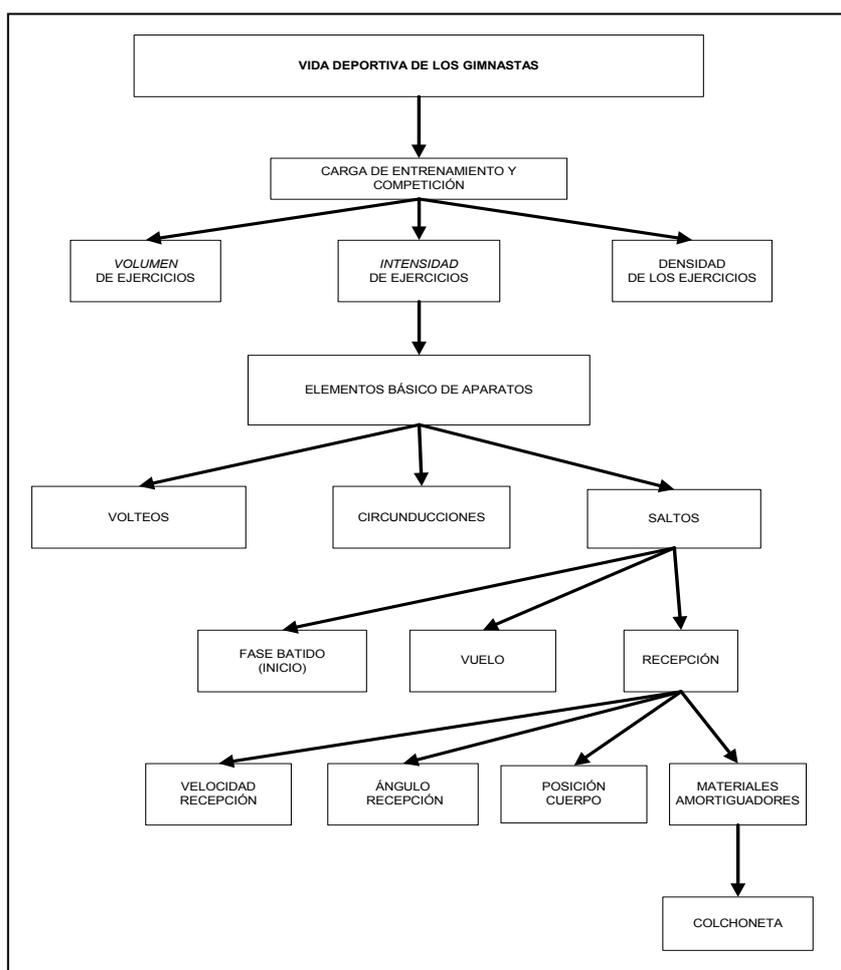


Diagrama 1.- Relación entre las colchonetas y las recepciones en gimnasia.

En términos de intensidad, durante una recepción los gimnastas pueden llegar a la colchoneta partiendo de alturas de $3'95 \pm 0'16$ m (Geiblinger y cols., 1995), y generar fuerzas de impacto con una magnitud comprendida entre 10 - 18 veces el peso corporal (McNitt-gray, 1993). Además, como señala la F.I.G (Federación Internacional de Gimnasia), en ocasiones durante la recepción, los gimnastas deben ser capaces de reducir las velocidades de llegada a la colchoneta a cero prácticamente con un solo movimiento del pie (F.I.G. 1984).

Por lo tanto, la recepción tras la salida de un aparato supone una gran dificultad para la gran mayoría de los gimnastas y un gesto técnico de gran relevancia, pues de una buena ejecución final dependerá el obtener una mejor o peor puntuación durante la competición, ya que un paso adicional, rebote o movimiento extraño pueden suponer disminuciones en la puntuación final e incluso la pérdida de una medalla individual o por equipos. Sin embargo, más allá de la competición, la importancia radica en que una incorrecta llegada a la colchoneta tras la salida del aparato o un desequilibrio podría ser motivo de graves lesiones.

- ***Epidemiología en gimnasia deportiva.***

Los estudios epidemiológicos muestran como en las extremidades inferiores son las zonas donde se localiza el mayor número de lesiones, concretamente entre 34.4 % - 43.1% (gimnastas femeninas) y 54.1% - 70.1% (gimnastas masculinos), seguido de las extremidades superiores (15.1% - 25%) y la región del ráquis (7.5%-16.5%) (Hume, 2001). Éstas pueden ser debidas a las elevadas fuerzas de impacto alcanzadas durante la recepción.

La elevada incidencia de lesiones asociadas a la primera fase de la recepción, refleja el desafío que se presenta a los gimnastas durante la ejecución final de ejercicios, cada vez más exigentes (Lowry y Leveau, 1982; Hunter y Torgan, 1983; Riccardelli y Pettrone., 1984; Weiker, 1985; Andrish, 1985; NCAA, 1986; McAuley y cols., 1987). Durante las recepciones en general, y cuando se realizan desde alturas alcanzadas mediante el empleo de aparatos mecánicos como por ejemplo el minitramp, se necesitan utilizar, con el objeto de minimizar las elevadas magnitudes de impacto, métodos externos de protección como son las colchonetas (Sands, 1984; Nigg, 1985; Nigg y Yeadon, 1987). El papel de las colchonetas en ese sentido es muy importante y, en ocasiones contrapuesto, ya que deben proporcionar confianza y seguridad al gimnasta minimizando los riesgos de lesión y, por otro lado, estabilizar y permitir al gimnasta realizar una correcta ejecución desde el punto de vista técnico.

A medida que la altura de caída aumenta, el espesor de la colchoneta tiende a incrementarse (Nigg y Yeadon, 1987). En gimnasia, sin embargo, colchonetas finas reemplazan a las gruesas utilizadas en los entrenamientos cuando el riesgo de una recepción incontrolada o de una caída inesperada es reducido. Así, por ejemplo, en algunos entrenamientos se realizan recepciones sobre colchonetas de 20 cm, en cambio durante la

competición los gimnastas reciben desde alturas superiores a 1.5 m sobre colchonetas de 12 cm de espesor (Sanders, 1984).

La recepción puede dividirse en dos fases: fase de alto impacto y fase de equilibrio. En recepciones bien ejecutadas la mayor parte de la energía (durante la fase de alto impacto) es absorbida por el trabajo excéntrico de la cadena extensora del miembro inferior. No obstante, para reducir la fuerza de impacto, además de la parte activa (sistema músculo-esquelético del gimnasta) se requiere un buen componente amortiguador pasivo: es el papel que cumplen las colchonetas (Gros y Leikov, 1994). (diagrama 2).

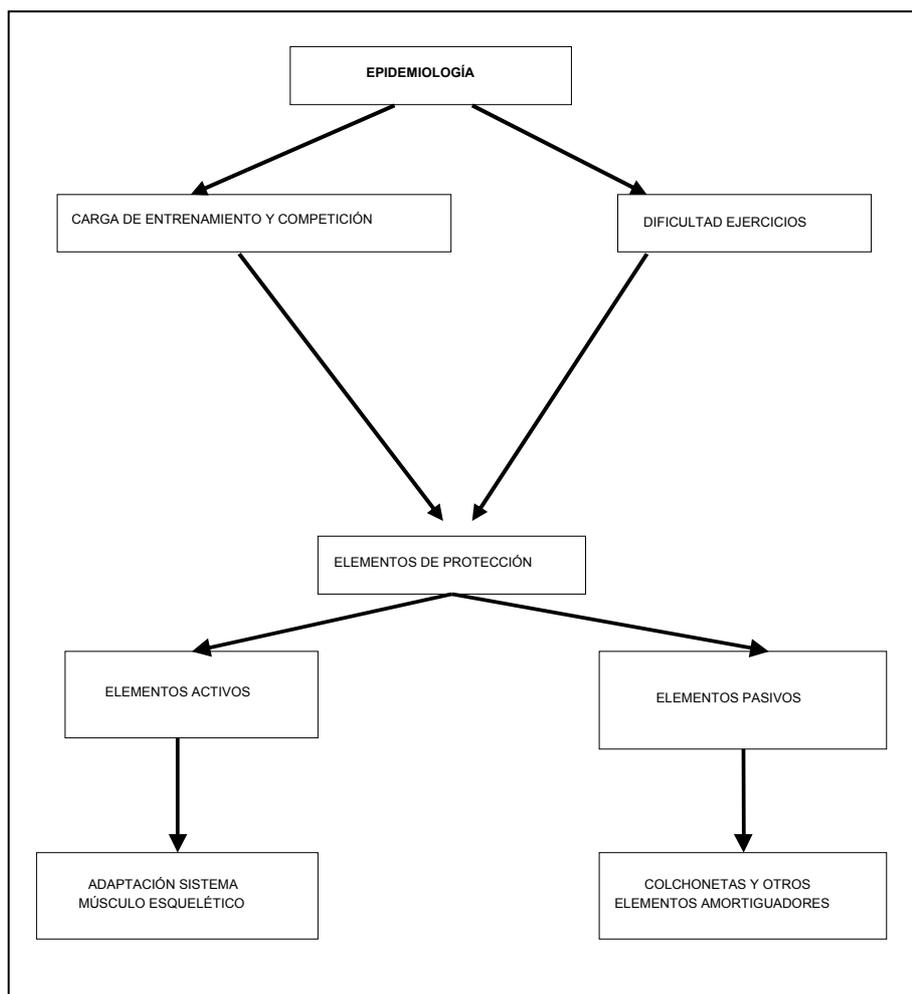


Diagrama 2.- Epidemiología y papel desempeñado por las colchonetas.

- **Criterios normativos en materia de colchonetas.**

Las diversas características y especificaciones que deben cumplir las colchonetas empleadas en gimnasia deportiva son establecidas actualmente mediante una serie de ensayos o test regulados por dos normativas;

- LA NORMATIVA DE LA FEDERACIÓN INTERNACIONAL DE GIMNASIA (F.I.G). 2000.
- LA NORMATIVA EUROPEA (E.N - 12503). 2001.

Según estos ensayos normativos, donde entre otros aspectos se limita la deformación y el nivel de deceleración máxima de frenado, las colchonetas se clasifican en diferentes tipos según el uso para el cual vayan a ser destinadas. Sin embargo, y pese a la norma, la incidencia de lesiones sigue siendo alta, bien porque las colchonetas no respetan la norma (lo cual es poco probable durante la competición pero no en entrenamientos) o porque la norma es inadecuada y no contempla todos los aspectos que deberían ser analizados en las colchonetas.

La metodología empleada en estos ensayos normativos se basa en la caída libre de una masa dejada caer sobre la colchoneta, y ha sido frecuentemente criticada por diversos autores (Nigg, 1990; Arampatzis, 2002;) pues dicha masa no simula la caída real que produciría un gimnasta al recepcionar en la colchoneta, ya que entre otros aspectos, los gimnastas utilizan su sistema músculo-esquelético como sistema de amortiguación frente al impacto. Cabe además tener en cuenta, que la actual normativa no considera la energía disipada por el material en función del tipo de impacto, siendo esto importante, ya que la posibilidad de sufrir una lesión aumenta si la colchoneta no absorbe suficiente energía generada tras el impacto.

Al parecer, existe un cierto consenso entre la literatura consultada, en que los resultados obtenidos en estos ensayos normativos no permiten simular cargas que se ajusten a las que realmente se producen cuando los gimnastas recepcionan en las colchonetas. En este sentido, las diferencias observadas en el estudio de las recepciones realizadas por McNitt-Gray y cols. (1993) sobre diferentes tipos de superficie muestran la necesidad de considerar la interacción entre el gimnasta y la superficie de recepción en el diseño de una colchoneta (diagrama 3).

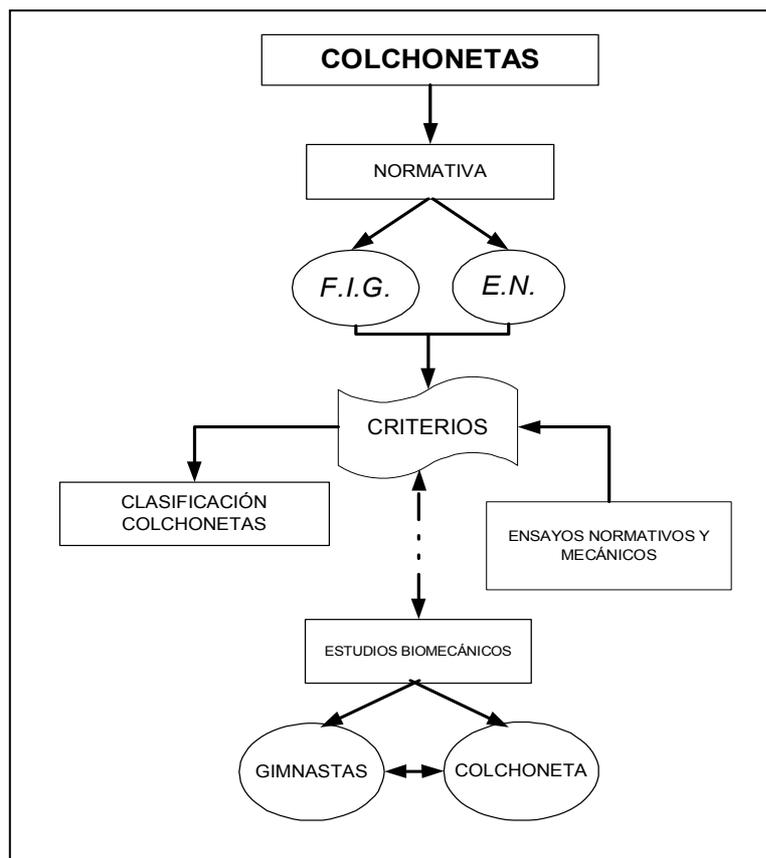


Diagrama 3.- Normativa en materia de colchonetas y posibilidades de incorporar estudios biomecánicos.

- **Análisis biomecánico de la recepción.**

La aportación de la biomecánica al estudio de la recepción del gimnasta (tanto en la fase de vuelo como en la fase de recepción en la colchoneta) puede proporcionar información que ayude a generar nuevos criterios en el diseño de las colchonetas, ya que la participación del gimnasta en los estudios permitirá obtener una información más real que la obtenida con el actual sistema de ensayo mecánicos (diagrama 4).

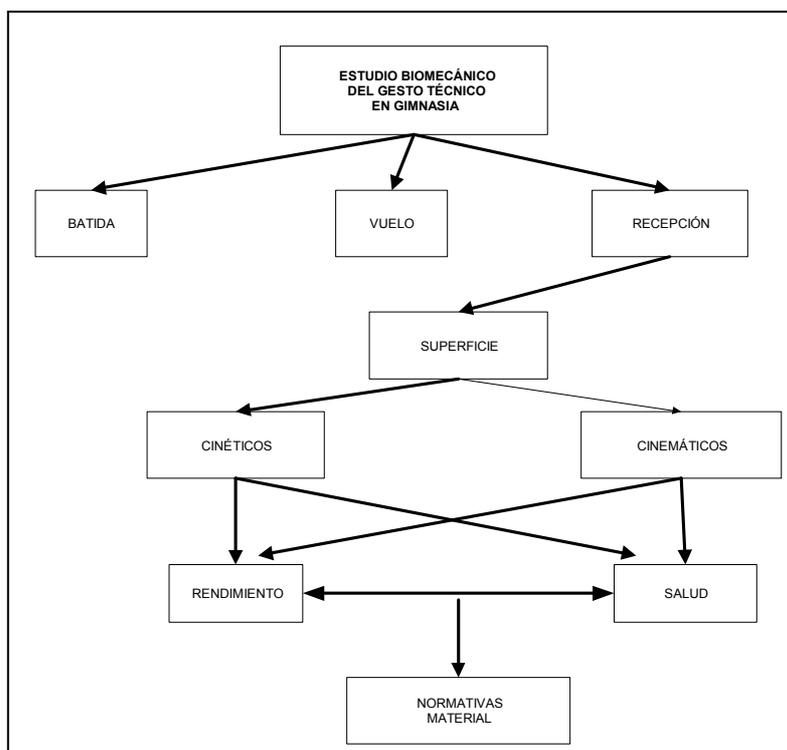


Diagrama 4.- Estudio biomecánico de la recepción.

En este sentido, los movimientos de los gimnastas han sido ampliamente estudiados por la biomecánica, existiendo diferentes trabajos centrados tanto en el análisis de la fase de vuelo del gimnasta (Brueggemann, 1994; Huaiying y cols., 1995; Spiros, 1995; McLaughlin, y cols, 1995; Self y cols. 2000) como en la fase de recepción sobre la colchoneta (Lees, 1981; Hall, 1985; Nigg, 1985; Gross y Nelson, 1987; Panzer, 1987; Dufek y bates, 1990; McNitt-Gray, 1991; Valiant y Cavanagh, 1991; En McNitt-Gray, 1993).

La recepción depende en gran medida de la habilidad del gimnasta para disipar la carga o fuerzas de reacción tras el impacto. Durante la recepción, el cuerpo se ve sometido a una serie de fuerzas y momentos, que se transmiten a lo largo del aparato locomotor, debidos a las elevadas velocidades de impacto (Hyoku y cols., 1984; McNitt-Gray, 1991; McNitt-Gray, 1993). Además, la capacidad que posee el gimnasta para controlar las fuerzas de reacción del suelo durante la recepción puede verse comprometida, entre otras causas, debido a una escasa habilidad para anticipar la carga ó dificultades en la coordinación intramuscular e intermuscular. Si las unidades músculo-tendinosas no pueden controlar con eficacia las fuerzas y los momentos creados por las fuerzas de reacción, las distintas unidades osteo-ligamentosas y diversos tejidos pueden experimentar cargas potencialmente dañinas, las cuales no son contempladas por la norma mediante ningún tipo de estudio. En este sentido, la repetida sucesión de dichas cargas puede originar en los tejidos lesiones agudas y/o sobrecargas debidas a una falta de adaptación. La exigencia mecánica en la extremidad inferior de los gimnastas durante la recepción se refleja en la alta incidencia de lesiones, por lo que una

ejecución segura en entrenamiento y competición contribuirá en la longevidad de la vida deportiva del gimnasta (McNitt- Nitt-Gray y cols., 2001).

Las normativas FIG y EN evalúan las propiedades de las colchonetas, y aseguran que la utilización de un determinado tipo de colchonetas cumplan los criterios normativos establecidos en base a ensayos exclusivamente mecánicos. Sin embargo, los diferentes estudios biomecánicos centrados en el análisis de la recepción, muestran la necesidad de considerar los efectos producidos en el gimnasta tras la recepción en diferentes tipos de colchonetas. Así, Arampatzis y cols. (2002) muestran en su estudio la necesidad de generar nuevas investigaciones que analicen el movimiento y la demanda de las estructuras óseas de la extremidad inferior durante la recepción, aspectos que actualmente las normas no contemplan.

Se observa por tanto, la necesidad de generar criterios en el análisis de la recepción considerando el análisis de variables biomecánicas en los gimnastas y su interacción con la colchoneta, tanto cinéticas como cinemáticas (fuerzas de reacción soportadas, velocidades de impacto, rango de movimiento articular,...). De este modo, se obtendrá un conocimiento real en la biomecánica de la recepción y de la influencia de la colchoneta sobre el gimnasta.

- **Conclusiones:**

A pesar de que las colchonetas utilizadas en competición deben ser testadas y aprobadas por la FIG, las quejas no cesan, las lesiones siguen produciéndose y, consecuentemente, colchonetas añadidas a las ya permitidas son utilizadas y toleradas (Gros y Leikov, 1994). El elevado número de recepciones realizadas a lo largo de la vida deportiva del gimnasta, las elevadas magnitudes y velocidades de impacto, así como la frecuencia de lesiones localizada fundamentalmente en la extremidad inferior, evidencian la necesidad de reajustar las propiedades y características de las colchonetas de gimnasia deportiva. Consecuentemente, se muestra la necesidad de replantearse y reorganizar, no sólo los actuales criterios normativos establecidos en cuanto a la selección de las colchonetas, sino también el tipo de ensayos normativos empleados, los cuales no contemplan el comportamiento y participación del factor humano, en este caso el gimnasta.

El diseño de una nueva generación de colchonetas debería contar con la participación e intervención de la biomecánica en el estudio de la recepción del gimnasta. El desarrollo de normativas y la puesta a punto de ensayos o tests mecánicos que permitan testar y asegurar un adecuado comportamiento de las colchonetas, requiere del estudio y evaluación de la respuesta de la colchoneta ante una carga de magnitud y condiciones similares a las que se aplican en contexto real.

Por lo tanto, el nuevo diseño de una colchoneta no sólo deberá estar caracterizado por la participación del gimnasta en la evaluación de su comportamiento, sino también por la aplicación de nuevos materiales y estructuras, alternativos a los tradicionalmente empleados, que posean propiedades óptimas de absorción de impactos, así como de estabilización y reequilibrio del gimnasta tras la recepción.

1.2.2.- EPIDEMIOLOGÍA EN GIMNASIA DEPORTIVA.



La mayor parte de la elite en gimnasia, tanto masculina como femenina, se inicia en la práctica deportiva en edades comprendidas entre los 6 y los 9 años, desarrollando una vida deportiva de 10 años o más. El compromiso que requiere ser gimnasta y el incremento de dificultad de las habilidades practicadas en edades de crecimiento, sometiendo a los gimnastas a intensidades extremas de entrenamiento, suponen una elevada posibilidad de riesgo a la hora de padecer lesiones (Caine y cols., 1996).

En gimnasia, existen lesiones que suelen estar relacionadas con las elevadas fuerzas de impacto, como por ejemplo; fracturas de los metatarsianos y hueso navicular (Krahl y Riemer, 1985). La carga que soporta cualquier parte del sistema locomotor humano puede ser definida como la suma de fuerzas y momentos que actúan sobre la articulación en cuestión. Dicha carga es un estímulo necesario para el mantenimiento e incremento de la resistencia de tejidos biológicos como ligamentos, tendones musculares, huesos y cartílagos articulares (Nigg y cols., 1990). Sin embargo, si la carga sobrepasa la tolerancia de dichos tejidos biológicos las posibilidades de sufrir una lesión aumentan.

1.2.2.1.- GRAVEDAD DE LAS LESIONES.

Caine y cols. (1989) afirman que el 41% de las lesiones que se producen en gimnasia requieren menos de 8 días de recuperación (lesiones leves), el 33% requiere entre 8 y 21 días (lesiones graves) y el 26% requiere más de 21 días de recuperación (lesiones muy graves). Existen, además, otro tipo de lesiones clasificadas como lesiones irreparables o catastróficas como son las cuadruplejias, aunque son pocos los casos conocidos de este tipo de lesiones y que la mayor parte de ellas ocurren en aparatos como el trampolín o el mini-tramp.

En ocasiones, las lesiones sufridas por los gimnastas pueden ser motivo del abandono de la práctica deportiva. Así, en el estudio realizado por Dixon y Fricker (1993), el 7% de los gimnastas que decidieron abandonar la práctica deportiva fue debido a lesiones que necesitaron de una intervención quirúrgica en la extremidad inferior, generalmente lesiones de menisco, rotura de ligamentos cruzados y fracturas por sobrecarga en el pie. Sin embargo, las lesiones no sólo motivan el abandono de la gimnasia, sino que también pueden tener repercusiones a lo largo de la trayectoria profesional del gimnasta. En este sentido, el estudio

realizado por Wadley y Albright (1993) muestra como un elevado porcentaje de los gimnastas estudiados no estuvieron completamente recuperados de las lesiones que padecieron hasta tres años más tarde.

Al parecer, también difiere el número de reincidencias en el tipo de lesión sufridas por gimnastas masculinos y femeninas. En esta línea, las investigaciones (NCAA, 1994) realizadas durante la temporada 1993-1994 muestran una mayor reincidencia en las gimnastas femeninas (2.19 reincidencias) que en los gimnastas masculinos (0'53 reincidencias) por cada 1000 gimnastas analizados respectivamente.

Con independencia del nivel de competición y género, la mayor parte de las lesiones sufridas por los gimnastas ocurren en situaciones de entrenamiento más que en competición. No obstante, el porcentaje de lesión durante las competiciones es mayor que en las sesiones de entrenamiento (NCAA, 1994).

Según el estudio realizado por Hume (2001), las lesiones más frecuentes en las competiciones de gimnasia femenina son los (*"sprains"*) esguinces (15'9-43'6%), y las (*"strains"*) distensiones (4'4-47'1%), al igual que ocurre, según la NCAA (1994), en la gimnasia masculina. No obstante, la elevada proporción de estas lesiones no es quizá tan sorprendente cuando se considera la alta frecuencia de salidas de aparatos en gimnasia, incluyendo las repetitivas recepciones asociados con las rutinas de suelo (Caine y cols., 1996).

1.2.2.2.- LOCALIZACIÓN DE LAS LESIONES EN GIMNASIA DEPORTIVA.

Según Caine y cols. (1996) la frecuencia de lesiones en gimnasia se produce de manera desigual tanto en las extremidades superiores-ráquis como en las extremidades inferiores, siendo mayor el porcentaje de lesión en éstas últimas. Posiblemente, sea debido a que es en las técnicas de salto donde se producen las acciones más peligrosas, concretamente durante la recepción en la colchoneta.

Igualmente, también se muestra un porcentaje de lesión mayor en la extremidad inferior de los gimnastas masculinos, a diferencia de sus homólogos femeninos que poseen una incidencia similar de lesión tanto en la extremidad superior como inferior (figura 1).

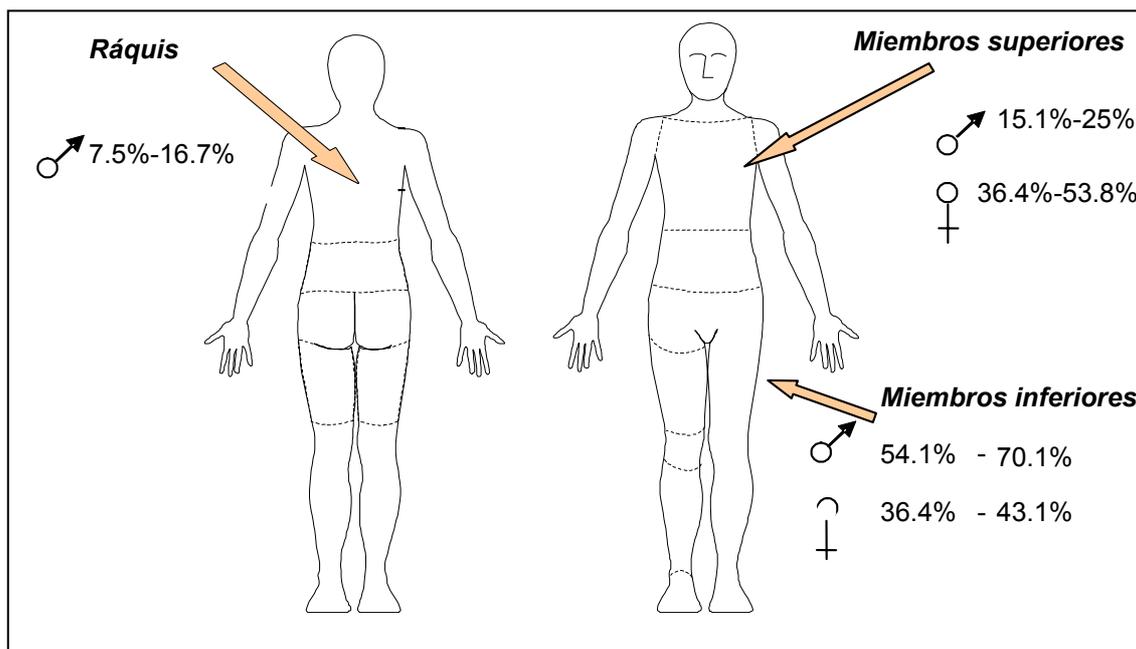


Figura 1.- Frecuencia de lesión por zonas y sexo.

• EPIDEMIOLOGÍA EN LA EXTREMIDAD INFERIOR.

Siendo la extremidad inferior la que va a recibir la mayor carga de impacto durante la recepción en la colchoneta, los estudios realizados (Caine y cols., 1996) muestran como la articulación con mayor frecuencia de lesión es el tobillo, seguido de la rodilla y del pie/dedos. Estudios posteriores (Theiss y cols., 1999; Arampatzis, y cols. 2002) también muestran como el tendón de Aquiles y diversas articulaciones del pie (articulación talocrural y talonaviclar) son zonas frecuentemente lesionadas.

La magnitud de las fuerzas que debe absorber la extremidad inferior es aproximadamente de 4 veces el peso corporal durante la salida del aparato (Takei, 1991) y 12 veces durante la recepción (Panzer y cols., 1988). Dadas estas magnitudes, y la frecuencia de las mismas, las cargas producidas pueden exceder los niveles de tolerancia del sistema músculo-esquelético (Panzer y cols., 1988) pudiendo originar fracturas en el pie (Caine y cols., 1989) ó problemas a nivel de la rótula debido a una disfunción biomecánica de ésta (Meeusen y cols., 1992; En Hume, 2001).

Pero los impactos que se producen durante una recepción no sólo tienen consecuencias negativas para la integridad del gimnasta. En este sentido, la investigación realizada por Bauer y cols. (2001) muestra una influencia positiva de las recepciones en el crecimiento de los huesos (osteogénesis) de la cadera. En su estudio, emplearon como tipo de salto el "Drop jump" desde una altura de 61 cm (figura 2). Sin embargo, los resultados no son concluyentes y no se puede establecer una correlación definitiva, debido a que no existen

estudios realizados entre efectos osteogénéticos y la elevada magnitud del impacto que se produce durante la recepción en gimnasia, aunque si en otros estudios de crecimiento y otros deportes.



Figura 2.- “Drop Jump” (Bauer y cols., 2001).

En esta línea, diferentes investigaciones (Taaffe y cols., 1997; Bauer y cols., 2001) muestran un 35% más de densidad mineral del hueso de la cadera en gimnastas que en corredores. Además, los elevados impactos a los que están sometidas las gimnastas disminuyen la pérdida de masa ósea a causa de la amenorrea y oligomenorrea (Taaffe y cols., 1995; en Bauer y cols., 2001).

A pesar de todo ello, las fuerzas de reacción del suelo para los gimnastas se producen muy rápidamente (McNitt-Gray, 1993; Munro y cols., 1987) y son más elevadas si se comparan con otros deportes; siendo de 10-18 veces el peso corporal (McNitt-Gray, 1993) o de 8.8-14.4 veces el peso corporal tras un doble salto mortal hacia atrás (Panzer, 1987), mientras, para un corredor son de 2-3 veces el peso corporal ó de 2.12-2.88 veces el peso corporal las soportadas al realizar aeróbic (Caine y cols., 1996). Por lo tanto, y aunque los efectos de los saltos produzcan un efecto positivo sobre la osteogénesis, las elevadas y frecuentes fuerzas de impacto a las que se ven sometidos los gimnastas pueden ser motivo para el desarrollo de cierto tipo de lesiones.

En un caso extremo, Smith (1953) demostró matemáticamente como un hombre de 80kg dejándose caer libremente desde una altura de un metro sin realizar flexión de rodilla podría dañarse gravemente la cabeza y el cuello del fémur (en Dufek y Bates, 1991).

- **EPIDEMIOLOGÍA EN LA EXTREMIDAD SUPERIOR Y RÁQUIS.**

En el ráquis, la repetición crónica de flexión, rotación y extensión de la columna durante los ejercicios, así como la hiperlordosis y cargas de impacto durante la recepción tras la salida de los aparatos son motivos suficientes que justifican una posible lesión. En este sentido, el estudio realizado por Denoth y cols. (1981) sobre la compresión de los discos intervertebrales en la columna de los gimnastas, muestra una notable compresión al final del entrenamiento, siendo tanto mayor cuanto más sean los impactos durante la recepción (Caine y cols., 1996). Goldstein y cols. (1991) sugieren que el empleo de colchonetas con una cierta densidad durante las competiciones reduce la carga a la que se somete la columna durante la recepción.

Las lesiones más graves de columna son deformaciones en los discos intervertebrales y daños en las carillas articulares, con resultado de espondilosis (fracturas) por estrés y espondilolistesis (deslizamiento de una vértebra sobre otra) (Caine y cols., 1996). Estas lesiones pueden provocar alteraciones en el desarrollo del disco vertebral, lo cual podría interferir en el crecimiento y/o originar cambios degenerativos crónicos en la columna (Brukner y cols., 1993; en Hume, 2001).

Las acciones que afectan considerablemente a las lesiones sufridas en la columna son la excesiva flexión, extensión y rotación solicitada a la columna durante los ejercicios (Hall, 1996). Los cuerpos vertebrales están sometidos a los mismos factores de deformación que influyen en el crecimiento de los huesos en cualquier lugar del cuerpo (Bick y cols., 1950), en este sentido, la flexión repetida en la unión torácico-lumbar, asociada a la recepción desde varias alturas pueden crear tensiones por compresión suficientes como para interrumpir el correcto crecimiento del disco vertebral (Mandelbaum y cols., 1991).

En las extremidades superiores, la muñeca seguida del codo y mano/dedos son las zonas más lesionadas, teniendo en los gimnastas masculinos la lesión a nivel de los hombros una mayor incidencia debida fundamentalmente, a la elevada demanda física exigida en rutinas como las de anillas, caballo con arcos y barra fija (Hume, 2001). En este sentido, estudios como los de Takei (1991), donde se han analizado las fuerzas que soportan las extremidades superiores durante el salto, muestran valores de 1.13-1.57 veces el peso corporal. Kopp y cols. (1980) obtuvieron valores comprendidos entre 3.9 y 9.2 veces el peso corporal, en ejercicios realizados en barra fija y anillas respectivamente, y Witten y cols. (1988) obtuvieron resultados de 3.1 veces el peso corporal en gimnastas femeninas sobre las paralelas.

1.2.2.3.- FACTORES DE RIESGO EN LAS LESIONES DE GIMNASIA DEPORTIVA.

Durante la práctica de ejercicios físicos los segmentos corporales tienen que soportar deformaciones tanto elásticas como residuales. Las deformaciones elásticas atenúan los golpes y las vibraciones que tienen lugar durante el gesto deportivo. Si las tensiones exceden

la resistencia elástica de los tejidos, se producen las deformaciones residuales (cambios en la longitud de los tejidos tras la aplicación de cargas con cierta duración en el tiempo) (Vain., 1981).

En función de la frecuencia y severidad de las deformaciones, se puede desencadenar falta de aporte sanguíneo a los tejidos y provocar cambios degenerativos (Müller y cols., 1976; Mironova y cols., 1977). Los ejercicios que implican elevados impactos son particularmente peligrosos para los discos intervertebrales, especialmente en casos de debilidad de los músculos abdominales y de la espalda (Gross y cols., 1986).

En gimnasia, los factores que pueden desencadenar lesiones son (Hume, 2001):

- **Factores de riesgo intrínsecos (referentes al gimnasta).**
 - A) Nivel de desarrollo motor de los gimnastas; existe un mayor riesgo de lesión en edades tempranas o de crecimiento (Caine y cols., 1989).
 - B) Condición física; flexibilidad, fuerza, equilibrio y resistencia han sido incluidos como factores potenciales en el riesgo de lesión (Linder y Caine., 1990).
 - C) Características psicológicas; vida estresante, ansiedad, y auto-estima (Kerr y Minden, 1988; Kolt y Kirkby, 1995).

- **Factores de riesgo extrínsecos (referentes al entrenamiento y la actividad).**
 - A) Exposición a la actividad (Caine y cols., 1996); la mayoría de las investigaciones coinciden en afirmar que a medida que se va adquiriendo mayores niveles de competición, se incrementa el porcentaje de lesión debido, fundamentalmente, a las complejas y arriesgadas ejecuciones realizadas.
 - B) Condiciones de entrenamiento (Caine y cols., 1996); parece ser que la mayoría de las lesiones ocurren en gimnastas consolidados y durante ejecuciones de dificultad básica o moderada. Esto puede ser debido a la falta de atención por parte de los gimnastas durante la ejecución.

Muchas de las lesiones producidas ocurren en las sesiones tempranas de entrenamiento, es decir, a primera hora de la mañana, fundamentalmente por (Caine y cols., 1989; Lidner y Caine., 1990):

- a) Falta de calentamiento.

- b) Progresión inadecuada en las rutinas de entrenamiento.
 - c) Prácticas complejas en sesiones de entrenamiento tempranas
- C) Condiciones del entorno y el equipamiento (Caine y cols., 1986); las precarias condiciones en equipamiento de seguridad originan lesiones como esguinces de rodilla debido a una mala alineación de las colchonetas en el suelo.

1.2.2.4.- Conclusiones a la epidemiología en gimnasia deportiva.

Existe un mayor porcentaje de lesiones sufridas en los entrenamientos que en las competiciones (Sands y cols. 1993), quizás debido al hecho de que existe mucha más protección y cuidado en condiciones de competición que en las de entrenamiento, así como las diferencias existentes en el entorno y la utilización de colchonetas de distinta densidad (Caine y cols., 1996). Además, la mayor parte de las lesiones están localizadas en el miembro inferior, asociadas a elevados impactos y exceso o falta de movilidad, lo cual parece estar relacionado con las colchonetas.

Parece razonable que un equipamiento deficiente sería motivo suficiente para asociarlo a un incremento de las lesiones (Goodway y cols., 1989). Por lo tanto, es necesario que gimnastas y entrenadores equipen correctamente los lugares de entrenamiento en un intento de reducir las lesiones.

Por este motivo, la utilización y dotación de un equipamiento más seguro en los lugares de entrenamiento se está realizando (suelos elásticos, densidad en las colchonetas de recepción, etc..). Sin embargo, y pese a conseguir mayor seguridad en el equipamiento, los niveles de dificultad aumentan progresivamente, produciendo una reducción en la efectividad a largo plazo de un equipamiento seguro (Caine y cols., 1996). De ahí, la necesidad obtener colchonetas más seguras y bajo criterios óptimos que permitan disminuir los riesgos de lesión en los gimnastas.

1.2.3.- CRITERIOS NORMATIVOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS COLCHONETAS.



En el siguiente apartado se muestra cuales son los distintos criterios y especificaciones establecidas por las dos normativas existentes en materia de colchonetas (FIG y EN), así como los ensayos mecánicos propuestos para clasificar y evaluar el comportamiento de las mismas. Finalmente, se muestra una discusión de distintas investigaciones (Fukuda, 1988; Devita, 1992; Arampatzis y cols., 2002) llevadas a cabo con el fin de evaluar las técnicas utilizadas para analizar el comportamiento de la colchoneta considerando al factor humano.

1.2.3.1.- Definición de conceptos previos relacionados con los ensayos normativos.

Se definen a continuación una serie de conceptos relacionados con las características y propiedades que las colchonetas deben de cumplir y que, en mayor o menor medida, son empleados en las distintas normativas (FIG / EN) para establecer la clasificación de las colchonetas.

A) Amortiguación o absorción de impactos.

Es la propiedad que posee una colchoneta para reducir las fuerzas generadas por el gimnasta tras el impacto. Para caracterizar este aspecto se suelen utilizar diferentes parámetros como:

- Pico de deceleración; es la aceleración máxima sobre la colchoneta experimentada por un cuerpo que impacta desde una determinada altura. Si bien las unidades en el S. I. son el m/s^2 , se suele normalizar y expresar en “g”, es decir, veces el valor de la gravedad terrestre.
- Capacidad de recuperación; propiedad que posee la colchoneta para recuperar su espesor inicial tras el impacto (medida en porcentaje (%)) respecto a la condición inicial).
- Pico de fuerza; máxima fuerza generada en la superficie de contacto tras recepcionar (medida en Newton (N)).
- Rebote; altura que alcanza un cuerpo rígido tras impactar en la colchoneta partiendo desde una altura determinada (medida en milímetros (mm)).

B) Fricción.

La fricción hace referencia a la fuerza de rozamiento que aparece entre el pie y la colchoneta. Una fricción baja produciría un deslizamiento del pie, originando una pérdida de equilibrio o caída del gimnasta durante la recepción. Por el contrario, una fricción alta puede ocasionar lesiones por una excesiva fijación del pie, fundamentalmente en rodilla y tobillo.

La abrasión, se relaciona con la fricción, de tal modo que un coeficiente adecuado de abrasión permita que el pie no resbale y que tampoco quede fijado. Si la abrasión fuera excesiva, ésta provocaría quemaduras en el pie del gimnasta.

C) Deformación.

La deformación podría ser definida como la propiedad que posee la colchoneta para poder alterar su estado y forma inicial frente a un impacto, distinguiendo entre deformación estática y dinámica. En este sentido, la deformación estática se expresaría como aquella que

experimenta la colchoneta tras ser sometida a una carga constante y durante un tiempo concreto, en cambio la deformación dinámica se define como aquella que experimenta la colchoneta tras ser sometida a una carga que varía en el tiempo. En cuanto a las colchonetas de gimnasia, y debido a las características de la recepción, la deformación dinámica posee una mayor relevancia.

Además, el tipo de deformación puede ser areaelástica o puntoelástica según se experimente en una superficie amplia o no, respectivamente (figura 3).

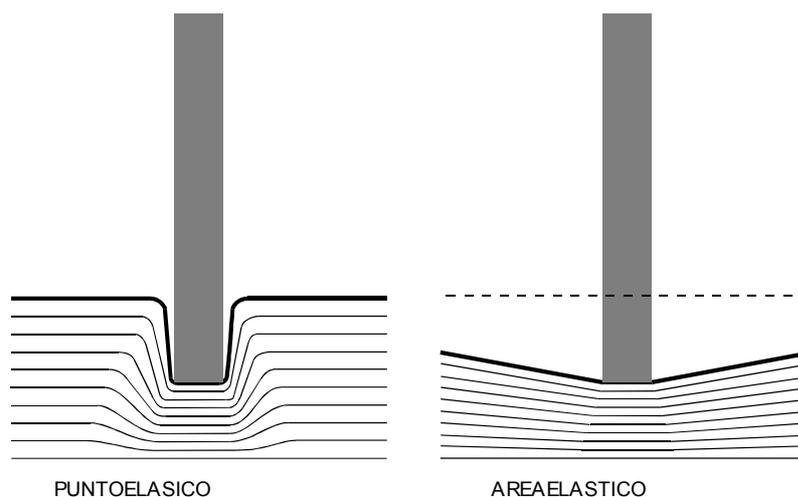


Figura 3.- Superficie puntoelástica y areaelástica.

1.2.3.2.- CRITERIOS NORMATIVOS EN COLCHONETAS DE GIMNASIA DEPORTIVA.

A continuación, se describe brevemente las propiedades y características que cada organismo normativo (FIG / EN) exige cumplir a toda colchoneta, así como los distintos ensayos mecánicos propuestos para la selección y evaluación de las mismas.

A) Normativa de la Federación Internacional de Gimnasia (FIG) 2000.

La normativa FIG (2000) contempla las últimas modificaciones realizadas sobre la primera normativa FIG (1985) y modificaciones posteriores FIG (1994).

La primera normativa establecida por la FIG en materia de colchonetas para gimnasia deportiva data del año 1985. Dicha normativa fue elaborada por el Institute for Sport and Sport Science de la Universidad de Freiburg (Alemania), y comprende la descripción de una serie de ensayos e instrumental así como los criterios que deberían cumplir las colchonetas, las superficies para los ejercicios de suelo y los trampolines empleados en gimnasia. Respecto al espesor de las colchonetas para cada aparato, éste quedó comprendido en: 12 cm para caballo con arcos, 15 cm para paralelas o asimétricas, barra de equilibrio y salto femenino y 20 cm para barra fija, anillas y salto masculino.

La única consideración en la normativa, referente a la seguridad del gimnasta en relación con la colchoneta, hacía referencia a que el material de la superficie de la colchoneta no fuera abrasiva o causara quemaduras (no indicando valores recomendados), así como que las colchonetas encajaran sin dejar huecos entre ellas.

Los criterios descritos en la normativa de 1985 para la selección de un tipo determinado de colchonetas fueron modificados en 1994, estableciéndose una clasificación de las colchonetas en tres categorías: 12, 15 y 20 cm de espesor (tabla 1).

Espesor	12 cm	15 cm	20 cm
Deformación (mm)	< 105	< 105	< 110
Rebote (mm)	< 150	< 100	< 120
Fuerza Máxima (N)	< 4500	< 4000	< 3650

Tabla 1.- Clasificación de las colchonetas FIG (1994) en función de sus dimensiones y criterios normativos.

Como se observa en la tabla anterior, la deformación era limitada en un valor máximo para evitar la fijación del pie, lo cual tiene sentido ya que existe una capa superficial que distribuye las fuerzas ante un impacto. Es evidente que dejar un índice de deformación mayor disminuye el impacto soportado por el gimnasta. Sin embargo, las normas permiten una deformación del 87.5 %, 62.5 % y 55 % para colchonetas de 12, 15 y 20 cm respectivamente, pues de no verse limitada la deformación máxima se podrían originar lesiones a causa de la fijación del pie (esguinces y fracturas).

Gros y Leikov (1994) mantienen discrepancias respecto a la limitación de la deformación máxima en la colchoneta, afirmando que las normas no deberían limitar la penetración, estableciendo únicamente como criterio el que los pies no queden fijados y que la colchoneta no toque fondo durante la recepción.

La normativa actual F.I.G (2000), reduce la clasificación de las colchonetas a dos tipos (10 y 20 cm), siendo más detallada en las normas en cuanto a la descripción de características de fabricación, dimensiones y material de las colchonetas, establecidas en;

- II MAG 11/12. 01.01.2000.Pág. 32 (para G. Artística Masculina)
- II WAG 11. 01. 01.2000 .Pág. 51 (para G. Artística Femenina)

Estas normas establecen criterios idénticos tanto para las colchonetas de gimnasia masculina como femenina, siendo estos criterios:

a) Forma y dimensiones (figura 4 y 5).

- La superficie debe ser horizontal y sin huecos o fisuras.
- En caso de no alcanzar la altura requerida, existe la posibilidad de colocar una colchoneta encima de otra en un continuo, siempre y cuando la composición de las colchonetas apiladas presenten las mismas propiedades funcionales que las prescritas para una única colchoneta de idéntica altura.
- El diseño de la colchoneta debe permitir cubrir la base del aparato para el cual vaya destinada.

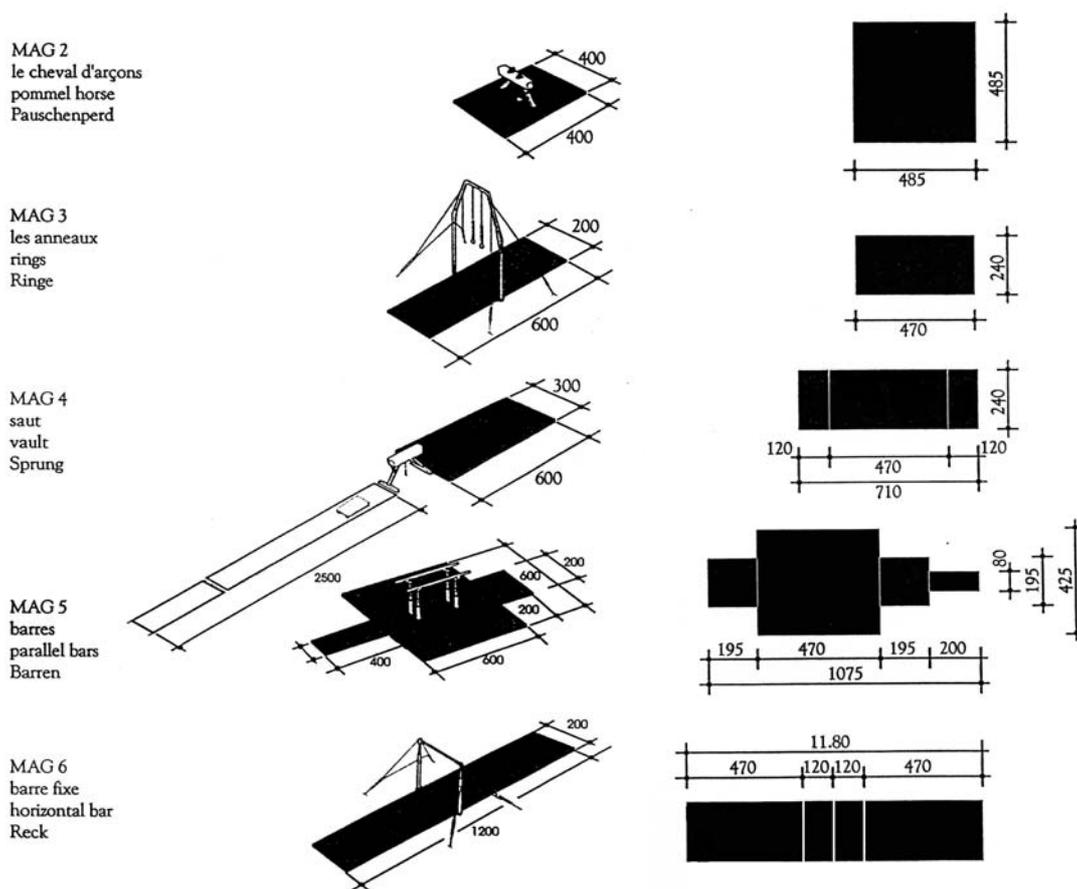


Figura 4.- Dimensiones colchonetas para aparatos de Gimnasia Masculina (MAG). FIG. 2000.

- IV MAG 11. 01.08.1996 pág. 1-3 y IV MAG 12. 12.07.1989 pág 1-3 (para colchonetas de recepción de 20 y 10cm en Gimnasia Art. Masculina y Femenina).
- IV WAG 11. 01.08.1996 pág. 1 (para colchonetas de recepción de 20 cm en Gimnasia Art. Femenina. Siendo las mismas condiciones que para la masculina).

COLCHONETA DE 20 CM		
Deformación (mm)	Altura de rebote (mm)	F máx (N)
≤ 110	≤ 90	≤ 3000
* La velocidad del impactador de 20 Kg es de 3'96 m/s ± 3% (correspondiente a una altura hipotética de 0'8m)		

Tabla 2.- Criterios normativos F.I.G en las colchonetas de 20 cm.

COLCHONETA DE 10 CM		
Deformación (mm)	Altura de rebote(mm)	F máx (N)
≤ 65	≤ 80	≤ 3750
* La velocidad del impactador de 20 Kg es de 2'80 m/s ± 3% (correspondiente a una altura hipotética de 0'4m)		

Tabla 3.- Criterios normativos F.I.G en las colchonetas de 10 cm.

A.1) Metodología de ensayo: Ensayos con máquinas (FIG. 2000).

- **Metodología FIG (1985).**

En el pasado, la FIG adaptando el procedimiento para la normalización de las colchonetas decidió aplicar la normativa I.S.O., que describe un largo procedimiento de medición para colchonetas de 2000 mm x 1250 mm x 60 mm en sus normas:

- I.S.O 5905 – 1980 Gymnastic equipment – landing mats (2000 mm x 1250 mm x 60 mm). 1980.
- I.S.O 5903 – 1981 Gymnastics equipment – landing mats and surfaces for floor exercises – Determination of hardness and impact camping. 1981.

Tales criterios se basan en las normas establecidas por el Instituto Federal de Medición de Material y Equipamiento Aleman (DIN 7913 – 7914) desarrolladas por Steiner y Wernitz en 1970 (Normativa F.I.G.1985).

La metodología empleada, consiste en dejar caer una masa de 10 Kg desde una altura de 40 cm sobre 9 puntos de medición distribuidos sobre la misma. De este modo, se establecieron los límites de deformación y rebote tras la recepción en la colchoneta. Posteriormente, se demostró que dicha masa de 10 Kg no era representativa para simular, por ejemplo, una salida de Barra Fija (Schweizer, 1984), ya que era aproximadamente comparable a la 1ª fase de la salida y recepción desde 1'30 m (para gimnastas de 70 Kg). Por lo tanto, para simular una salida en gimnasia se necesitaba una altura mayor (Normativa F.I.G.1985).

La F.I.G (1985) determina en sus ensayos una serie de variables que deben de ser estandarizadas y unos parámetros en la medición (distribuidos en Primarios y Secundarios). En cuanto a:

- Variables a estandarizar para analizar las propiedades funcionales de la colchoneta.
 - Peso del gimnasta.
 - Posición de salto desde el aparato.
 - Tiempo de contacto.
 - Fuerza de las piernas en los gimnastas.
 - Ángulos corporales al recepcionar.
 - Reducción de la fuerza de impacto debido al desplazamiento angular de las articulaciones del pie, tobillo y rodilla.
- Parámetros con carácter Primario.
 - Deformación (una baja deformación implica mayor dureza)
 - Altura de rebote (una buena recepción debería de mostrar una baja altura de rebote)
 - Propiedades de amortiguación de la colchoneta ante un impacto máximo.
- Parámetros con carácter Secundario.
 - Ajuste de la altura de rebote.
 - Diagrama de fuerza – deformación.
 - Ante los cambios que se puedan originar en las propiedades de los materiales, se debe de mantener una temperatura estable ($20 \pm 2^\circ\text{C}$).
 - Reducción del error de medición en los tres parámetros considerados como primarios:
*Deformación; $<\pm 1\text{mm}$. *Altura de rebote $<\pm 5\text{mm}$. *Absorción máxima de impacto $<\pm 68\text{N}$.

- **Modificación en la metodología: FIG (1994).**

En 1994, las Normas de la F.I.G. incorporaron un nuevo método de ensayo, el cual se obtiene deslizando una masa de 20 kg por una varilla. La altura es calculada para asegurar una velocidad de impacto de 3.96 m/s (teniendo en cuenta las pérdidas de fricción). Esto equivale a una altura de 0.8 m (procedimientos estandarizados por Schweizer, 1985; en Gros y Leikov, 1994).

- **Metodología FIG (2000).**

El objetivo del ensayo normativo contemplado actualmente en la normativa F.I.G. es similar al empleado en la F.I.G. 1994 (determinar las características en cuanto a la absorción de impactos, relaciones en la gráfica fuerza-tiempo de impacto y las propiedades de rebote de la colchoneta), no obstante, se incluyen algunas modificaciones en cuanto a la metodología e instrumental, tales como:

- ✓ Instrumental para el desarrollo del test:

El impactador empleado utiliza una masa de $20 \text{ Kg} \pm 0.2 \text{ Kg}$, con una superficie de $10 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ de diámetro. El borde del mismo no debe de tener ningún tipo de sección cortante o afilada. La duración entre un impacto a otro no debería de ser menor de 120s y cada prueba debería de recibir un total de 90 impactos, 10 por cada señalador (figura 6). La altura desde donde partirá el impactador es de 0.8 m ($3.96 \text{ m/s} \pm 3 \%$) para colchonetas de 20 cm y 0.4 m ($2.80 \text{ m/s} \pm 3 \%$) para las colchonetas de 10 cm.

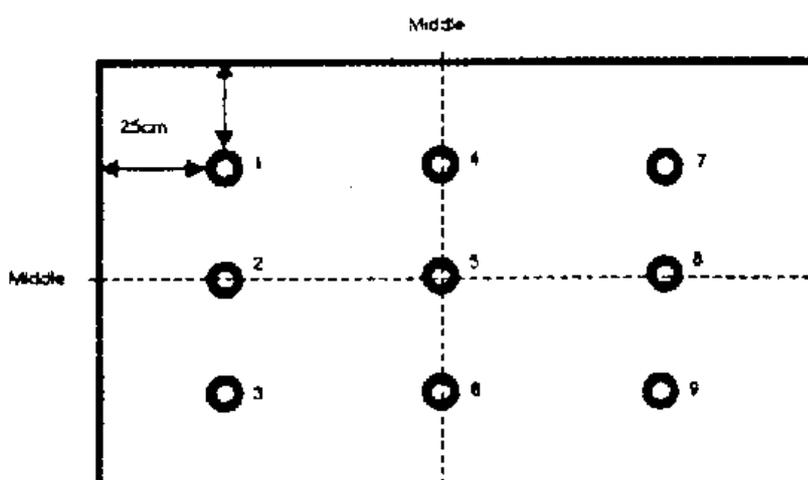


Figura 6.- Distribución de los señaladores de medición en la colchoneta (F.I.G., 2000).

El impactador debería de poseer un acelerómetro que pudiera ser fijado paralelamente al ángulo vertical con una desviación de $\pm 5^\circ$. La colchoneta deberá de poseer unas dimensiones horizontales (longitud y anchura) de 200 cm x 120 cm. Las condiciones de temperatura deberán ser de $21^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$, con una humedad relativa de $50\% \pm 10\%$.

✓ Equipo de grabación:

El filtrado de la señal en todos los transductores será acondicionada por una frecuencia de paso, por medio de un canal clásico de 1000 “of SAE recommended Practise J211”.

El sistema de grabación de la variable aceleración-tiempo deberá tener una frecuencia de respuesta adecuada para medir valores de picos de aceleración con una precisión de $\pm 5\%$. El sistema debería de ser capaz de medir aceleraciones de impacto superiores a 200 g con un rango de frecuencia hasta 1000 Hz y una precisión de $\pm 5\%$. La variable desplazamiento-tiempo es opcional y se recomienda que el monitor que la registre sea un transductor separado.

B) Normativa Europea – EN 12503 (2001)

En cuanto a los requisitos de seguridad establecidos por el Comité Europeo de Estandarización (C.E.N) para la fabricación de colchonetas dependiendo de su utilización, éstos vienen establecidos en la norma EN 12503, donde se realiza una división en 12 tipos de colchonetas según su utilización. Entre ellas, se observan tres tipos de colchonetas relacionadas con la salida de aparatos y altos impactos generados por los gimnastas;

Tipo 4.- Colchonetas para salida simple de aparatos con recepción controlada.

Tipo 5.- Colchonetas para salidas.

Tipo 6.- Colchonetas para salidas con dificultad.

La norma EN 12503 se subdivide en diversos apartados donde se especifica el material y la metodología necesaria para realizar los ensayos, así como los criterios que toda colchoneta debe cumplir:

- Criterios de seguridad para colchonetas de gimnasia (EN 12503-1:2001.Parte 1)(tabla 4).
- Determinación del pico de absorción (EN 12503-4:2001. Parte 4)
- Determinación de la base de fricción (EN 12503-5:2001. Parte 5).
- Determinación del pico de fricción (EN 12503-6:2001. Parte 6).
- Determinación de la deformación estática (EN 12503-7:2001. Parte 7).

ABSORCIÓN DE IMPACTOS			
Tipo colchoneta	Deceleración ($1g=9'81ms^{-2}$)	Deformación (mm)	Devolución de energía (%)
4	≤ 40	≤ 110	≤ 50
5	≤ 25	≤ 110	≤ 30
6	$\leq 14^a$	$\leq 105^a$	$\leq 15^a$
CARACTERÍSTICAS DE LA BASE DE FRICCIÓN			
4,5,6	$\leq 4,5$		
CARACTERÍSTICAS DEL PICO DE FRICCIÓN			
4,5,6	$\geq 0,8$		

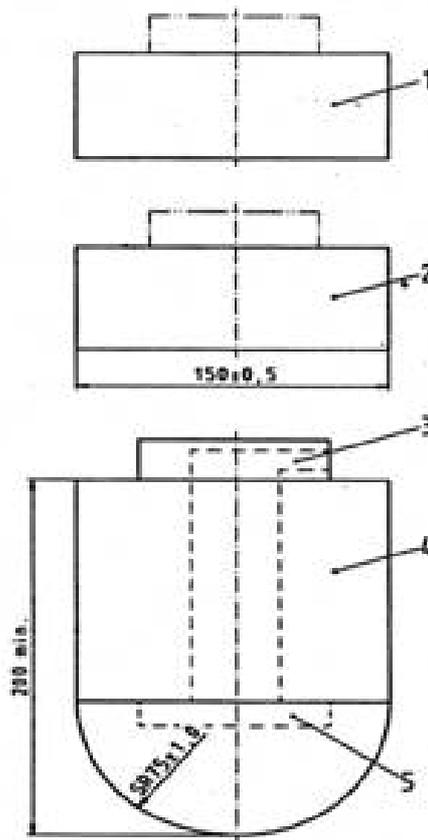
Tabla 4.-Criterios de seguridad para colchonetas de gimnasia. EN 12503 - 1.

B.1) Metodología de ensayo: Ensayos con máquinas (EN).

La metodología e instrumental empleada en los diversos ensayos normativos de la EN 12503, analiza los siguientes aspectos:

a) Absorción de impactos:

La Norma Europea emplea, para la determinación en cuanto a las características de absorción de impactos en las colchonetas de gimnasia (EN 12503-4:200), un impactador (figura 7) donde masa y altura varían en función de las características de la colchoneta. La masa oscila entre 10, 20, $30 \pm 0'1$ kg y un diámetro de $150 \pm 0'5$ mm.



- 1.- Additional mass (10±0.1) Kg.
- 2.- Additional mass (10±0.1) Kg.
- 3.- Cable port.
- 4.- Mass (10±0.1) Kg.
- 5.- Space for accelerometer.

Figura 7.- Características del impactador EN 12503-4.

El impactador se deja caer desde una altura de 150, 300, 400 y 800 ± 1 mm sobre 9 puntos de la colchoneta (figura 8) en la cual se registra la deceleración durante el impacto.

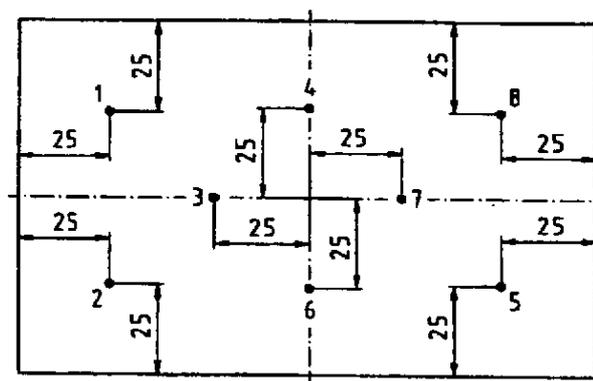


Figura 8.- Distribución de los señaldores de medición en la colchoneta. EN 12503.

Del perfil de la gráfica de deceleración-tiempo se extraen los parámetros específicos de absorción de impactos. Los datos se obtienen en unas condiciones de temperatura de 21 ± 3°C, incluyéndose en la instrumentación un acelerómetro cuyas características establece la norma ISO-6487 y con una frecuencia de muestreo no inferior a 10kHz (figura 9).

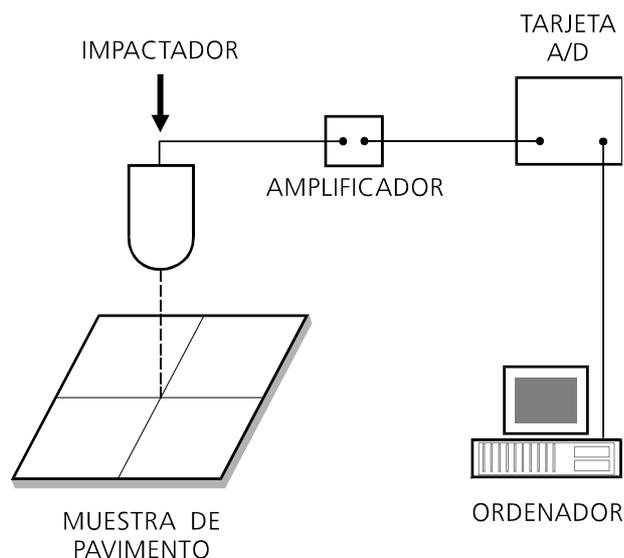


Figura 9.- Esquema del instrumental necesario para el ensayo de absorción de impactos. EN 12503.

b) Fricción:

La Normativa Europea emplea dos tipos de ensayos respecto a la fricción en una colchoneta. Un ensayo analiza la fricción en la base de la colchoneta y el otro analiza la fricción en la superficie de la colchoneta ó zona de recepción.

b.1) Fricción en la base de la colchoneta.

Este método de fricción dinámica consiste en medir la altura que alcanza una masa unida a un péndulo (figura 10) tras rozar contra la colchoneta. El péndulo consta de una masa deslizante de $1,50 \pm 0,03$ Kg unida al extremo de un brazo oscilante a una distancia de 410 ± 5 mm del centro de suspensión. Dicha masa deslizante consta de un bloque de aluminio de 76 mm de ancho, 24 mm de profundidad y 6 mm de ancho sujeto a una base rígida que, en conjunto, forman una masa total de 50 ± 5 gramos.

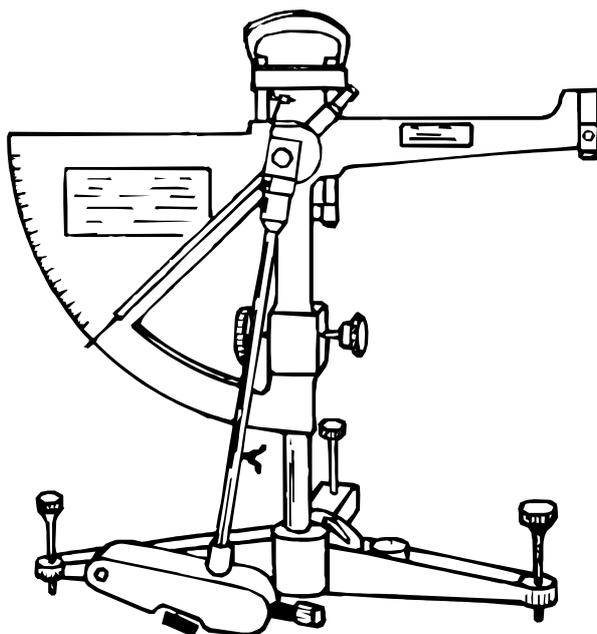


Figura 10.- Instrumental de análisis base de fricción. EN 12503.

b.2) Fricción de la colchoneta en la superficie o zona de recepción.

En la superficie de la colchoneta se mide el momento inicial necesario para girar una masa estática, la cual va incrementando gradualmente la fuerza que aplica sobre la colchoneta. El instrumento de análisis (figura 11) consta de un disco rígido cilíndrico (150 ± 2 mm) con un mango. La masa total es de 42 ± 3 kg y la superficie inferior del disco está cubierta por una capa de goma 150 ± 2 mm de diámetro (tabla.- 5). La superficie del disco se colocará sobre la colchoneta, en un mismo plano, sin apoyar las patas del instrumento sobre la colchoneta. La temperatura se debe mantener a 21 ± 3 °C durante 24 h antes.

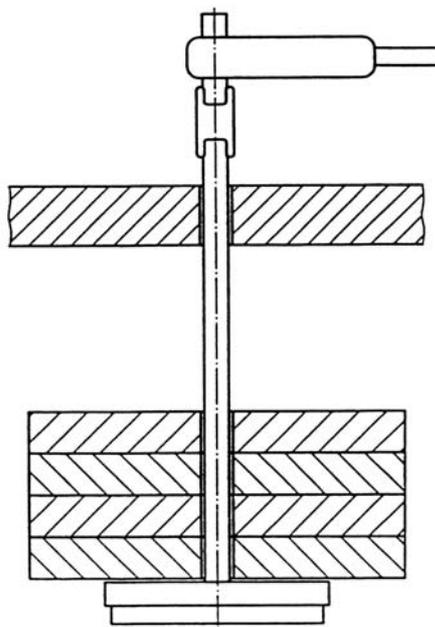


Figura 11.- Instrumental de análisis superficie de fricción. EN 12503.

PROPIEDAD	Norma de test	Características
Capacidad de recuperación	ISO 4662	21 ± 2% a 5°C
		24 ± 2 %a 23°C
		28 ± 2 a 40%
Rigidez	ISO 48	96 ± 2 IRHD a 23 ± 2 °C

tabla 5.- Características de la suela de goma. EN 12503.

C) Deformación:

La actual Normativa Europea EN 12503-7 emplea como aparato de medida (figura 12), la deformación producida por una placa cilíndrica de 160 ± 0.1 mm colocada sobre la colchoneta a la cual se le aplica una carga de 50 ± 0.5 kg y un diámetro de 78 mm. Posteriormente, se mide la deformación producida en la colchoneta por medio de una escala de medida en milímetros unida a la placa cilíndrica y un disco de aluminio o plástico rígido de 160 mm de diámetro con un agujero central de 80 mm. Las condiciones de temperatura del test deben ser de 21 ± 3 °C durante 24 h antes.

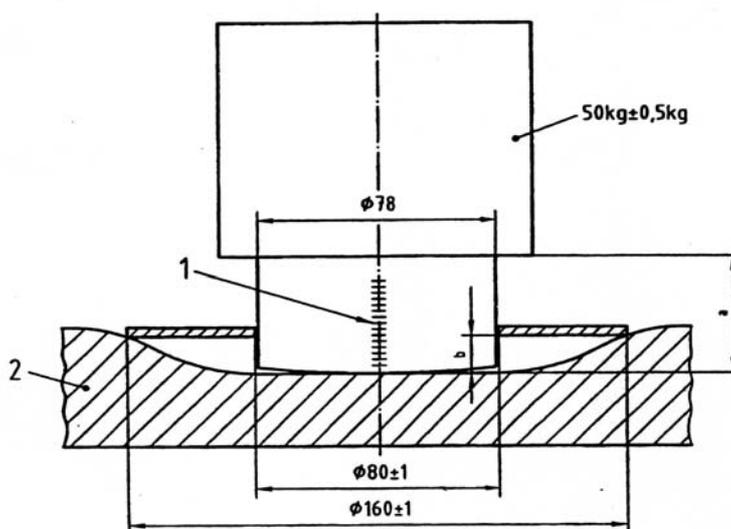


Figura 12.- Instrumental deformación estática. EN 12503.

1.2.3.3.- Discusión a los ensayos mecánicos normativos (FIG y EN).

Parece evidente, tal y como muestran Gros y Leikov (1994), que los datos de las gráficas aceleración-tiempo obtenidas empleando la metodología FIG (1985) para determinar la fuerza de deceleración máxima, la deformación y la altura del rebote en una colchoneta no sirven para comparar las cargas reales que las colchonetas puedan experimentar, ya que durante la práctica de ejercicios físicos el aparato locomotor no suele tener un comportamiento similar al de una masa dejada caer desde una altura determinada.

Nigg (1990) realizó una revisión crítica sobre los procedimientos empleados para testar las propiedades de amortiguación y de fricción de los materiales, demostrando que muchos de los procedimientos empleados no son adecuados para establecer las propiedades y características de las colchonetas. Los errores que más frecuentemente se cometen al analizar las colchonetas de gimnasia, suelen ser la escasa relación tanto de medios materiales como de instrumental empleado, entre la carga que realmente va a soportar una colchoneta al recepcionar el gimnasta sobre ella y la carga producida mediante el ensayo. Entre los errores que Nigg (1990) destaca podemos encontrar;

- No corregir o tener en consideración, en términos de inercia, la producida entre los pies en movimiento y la superficie de ensayo.
- Existe la posibilidad de que no exista similitud en el ensayo normativo entre la interacción que se da entre el deportista y la superficie. No aportando ningún tipo de

información sobre posibles fuerzas que actuasen en la estructura interna del cuerpo del gimnasta.

- Utilización de procedimientos en los que las situaciones de ensayo (materiales y/o fuerzas aplicadas) no representan la situación que se produce en la realidad.

Entre las ventajas que Nigg (1990) considera que pueda poseer el instrumental empleado actualmente para analizar las propiedades de amortiguación de una superficie deportiva o colchoneta, que realizando de manera adecuada los test, éstos pueden mostrar de un modo fiable cuales son las propiedades materiales de la superficie testada.

Gros y Leikov (1994) tomando como constante la masa y la altura, se plantean diversas dudas sobre la validez de la metodología empleada por la normativa para analizar la absorción de impactos. Ellos proponen uno de los test comúnmente empleados en la actualidad para analizar la absorción de impactos en distintas superficies, reflejado en la normativa DIN 18032-2 (DIN 1991). Dicho test utiliza el “Artificial Berlin Athlete Machine” (figura 13) para simular los impactos que una persona de 80-90 Kg podría producir en un salto vertical.

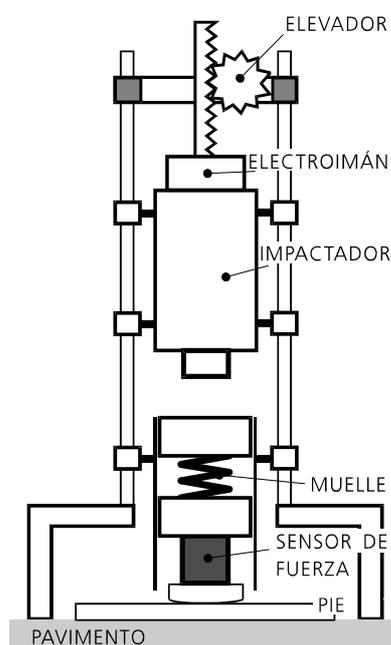


Figura 13.- Atleta Artificial.

El “Artificial Berlin Athlete Machine” utiliza un muelle para simular al atleta y ha sido aceptado por la Federación Internacional de Atletismo Amateur (I.A.A.F.) y otras organizaciones deportivas internacionales como la mejor solución práctica para la medición de las propiedades de absorción de diferentes superficies (Durá y cols. 1999).

Por lo tanto, tal y como ha hecho la I.A.A.F. y otros organismos, se podría replantear la utilización de la metodología actual para simular las cargas del gimnasta, adaptando por ejemplo el atleta artificial a las colchonetas para analizar sus propiedades de absorción.

1.2.3.4.- Conclusiones a los criterios normativos y características en las colchonetas.

Mediante los ensayos normativos, se establece que todas las colchonetas cumplan una serie de propiedades y características similares. No obstante, tal y como se ha mostrado en este apartado, los criterios, así como los ensayos mecánicos que establecen estos criterios, no

simulan la carga real que genera un gimnasta al recepcionar sobre la colchoneta. Por lo tanto, es necesario que las normativas contemplen en los ensayos propuestos la interacción del gimnasta y los efectos asociados al recepcionar en varias colchonetas de características distintas, es decir, que se realicen estudios biomecánicos.

1.2.4.- DESCRIPCIÓN BIOMECÁNICA DEL GESTO DE LA RECEPCIÓN.



Como se ha citado en el apartado anterior, los ensayos normativos realizados por la F.I.G. y la E.N. sobre las colchonetas no consideran la interacción entre el gimnasta y la colchoneta, simulando la carga que éste pueda generar durante una recepción mediante una masa de 20 Kg dejada caer desde una altura de 0'8 m.

Por lo tanto, tal y como indican Gross y Leikov (1994) deberían ser reconsiderados los procedimientos normativos (metodología e instrumental) que actualmente se utilizan, de tal manera que el estudio de las propiedades de una colchoneta contemplara que efectos positivos/negativos producen sobre el gimnasta.

Sin embargo, son escasos los estudios que analizan el comportamiento de la colchoneta durante la recepción de un gimnasta sobre ella, pues la mayoría se han centrado en el gesto técnico, dirigidos a analizar variables de carácter cinético (Panzer y cols., 1988; Dufek y cols., 1992; Zhang y cols., 2000; Brian y cols., 2001; Bauer y cols., 2001) y cinemático del miembro inferior (Less. 1981; McNitt-Gray. 1989; Dufek y cols., 1990; Devita y cols., 1992; Geiblinguer y cols., 1995; Arampatzis y cols., 2002).

Algunas investigaciones (McKinley y cols., 1992; McNitt-Gray y cols., 1993; Durá y cols., 1999) han examinado los ajustes cinemáticos y cinéticos, así como de transmisión de impactos en las recepciones realizadas por un mismo individuo sobre diferentes superficies o colchonetas. No obstante, la investigación es insuficiente, desconociéndose en gran medida el efecto que produce sobre el gimnasta la recepción en distintos tipos de colchonetas.

- **Efectos y mecanismos de amortiguación frente a impactos.**

El cuerpo humano dispone de dos mecanismos básicos (activos y pasivos) para limitar el estrés producido por los impactos durante una recepción (Llana, 1998), por un lado diversos tejidos contribuyen gracias a su composición química y estructura histológica a la amortiguación de los impactos; el hueso subcondral, el cartílago articular, el líquido sinovial, y el tejido blando periarticular y del talón ("*heel-pad*"). Por otro lado, la técnica empleada implica una movilidad articular que contribuye decisivamente en esta atenuación, siendo en este caso la musculatura que actúa excéntrica o isométricamente la encargada de absorber tales impactos. De los dos mecanismos mencionados, la estructura y composición de los tejidos del sistema músculo-esquelético se modifican adaptándose a las cargas a las que el cuerpo se ve

sometido, pero en un período de tiempo largo. Por consiguiente, al realizar un salto, la contribución de estos elementos en la amortiguación del impacto está determinada de antemano. El estudio de esta adaptación requeriría la realización de biopsias y cortes histológicos de los tejidos y su posterior estudio microscópico.

Los impactos producidos al interaccionar el deportista con el suelo se transmiten a lo largo del sistema músculo-esquelético dando lugar a vibraciones. El término “transmisión de impactos” hace referencia a esta propagación. Existen indicios que relacionan los impactos soportados por el sistema músculo-esquelético con la aparición y progresión de ciertas patologías, en particular con cambios degenerativos en el cartílago articular, pero también con otros trastornos como cefaleas, fascitis plantar, tendinitis del Aquiles y la degeneración de los discos intervertebrales (Wosk y cols., 1982).

El estudio de la severidad de estas cargas, así como su transmisión de unos segmentos corporales a otros, requiere medir las fuerzas de reacción, y la propagación de las vibraciones ocasionadas por tales cargas a través de los segmentos óseos, lo que permite valorar el efecto amortiguador de las distintas condiciones de ensayo a partir del cálculo de los “coeficientes de transmisión” obtenidos al relacionar ambas magnitudes (Llana, 1998).

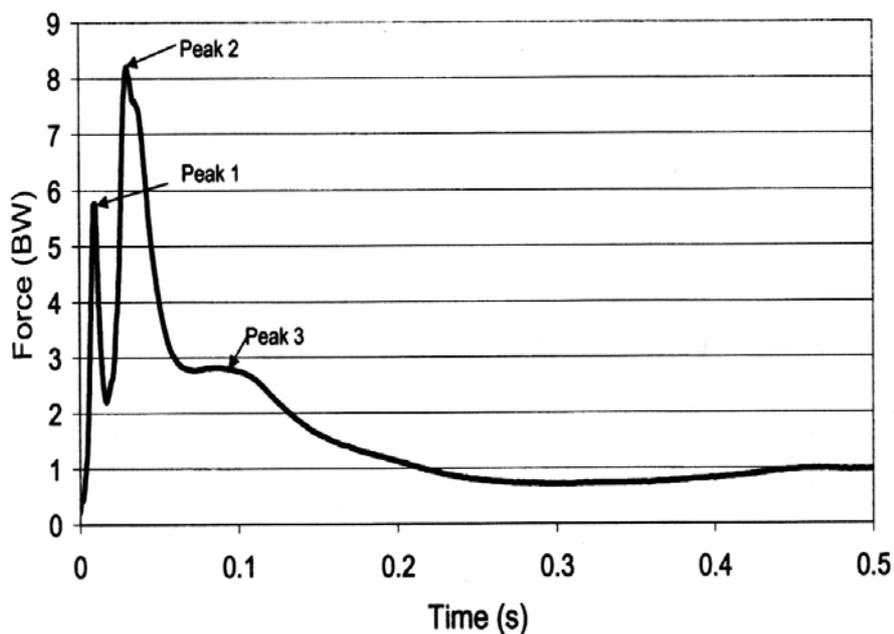
1.2.4.1.- Estudio biomecánico de la recepción en gimnasia deportiva.

A) ANÁLISIS CINÉTICO DE LA RECEPCIÓN.

Ante una recepción, el criterio utilizado para conocer la severidad de ésta, trata de analizar como se distribuyen las fuerzas verticales de reacción en el tiempo, de manera que se considera una “buena técnica de amortiguación o de disipación de un impacto” cuando se incrementa el tiempo durante el que la musculatura actúa excéntrica y/o isométricamente, pues de esta manera el estrés que supone el impacto recae en los músculos y no en los ligamentos y/o articulaciones (Llana, 1998).

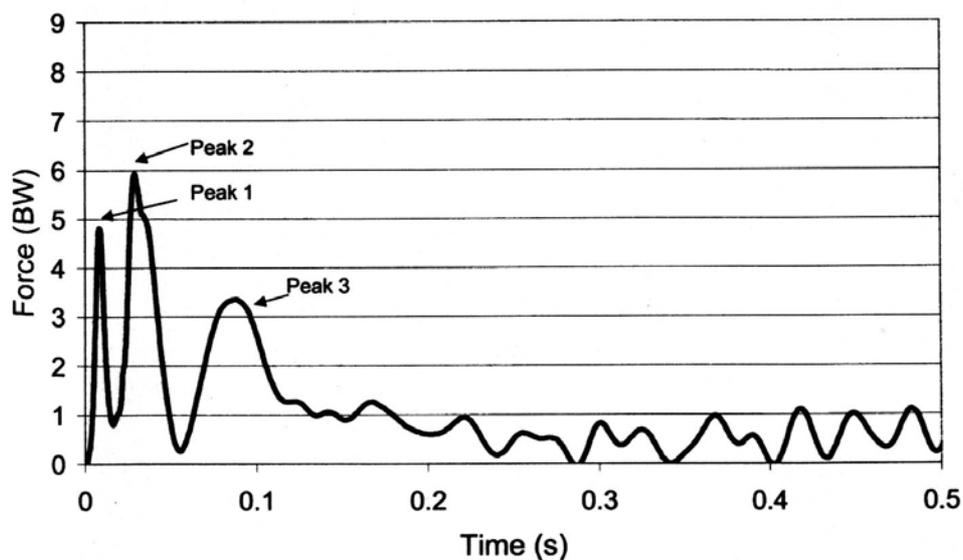
- **Fuerzas de reacción del suelo durante una recepción.**

En el estudio de las fuerzas generadas por diversos niños (9.3 ± 0.7 años) tras un salto “Drop jump” sobre una plataforma, se puede observar claramente tres picos (gráfica 1) (Dufek y Bates., 1990; Devita y Skelly., 1992; en Bauer y cols., 2001). El primer pico de la gráfica representa el contacto de la punta del pie; el segundo pico, generalmente de mayor magnitud, representa la llegada del talón; y el tercer pico representa la activación de los músculos antigravitatorios durante el descenso del centro de masas.



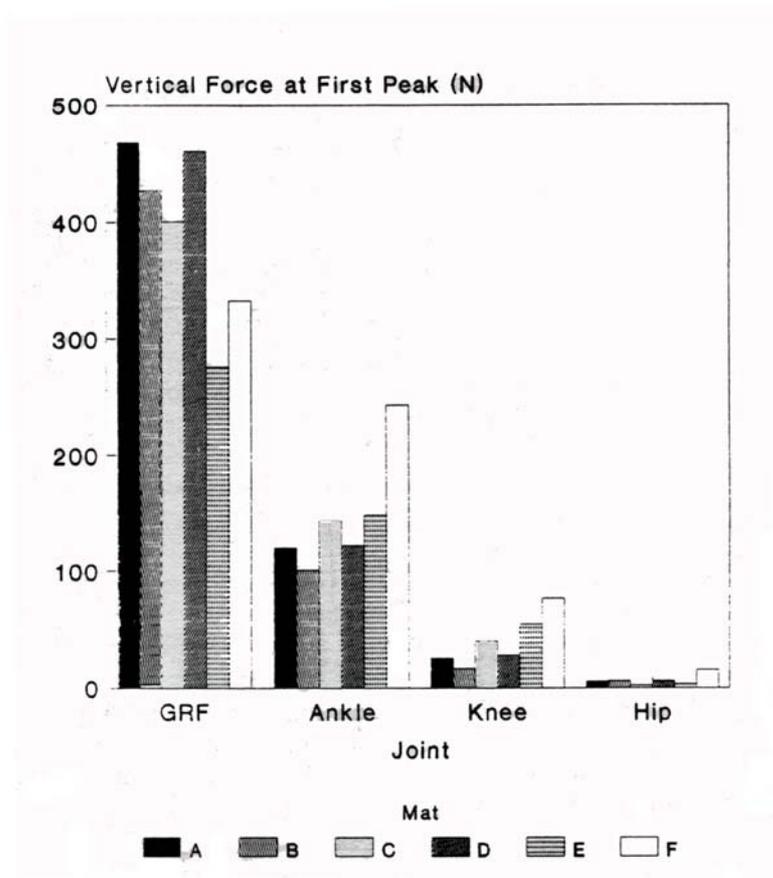
Gráfica 1.- Trazado de las fuerzas de reacción del suelo tras una recepción (Bauer y cols., 2001).

En la gráfica 2 se muestra la transmisión de las fuerzas de reacción en una articulación concreta como la cadera, donde se observa un patrón similar trazado por las fuerzas de reacción del suelo, aunque con un tercer pico de mayor magnitud.



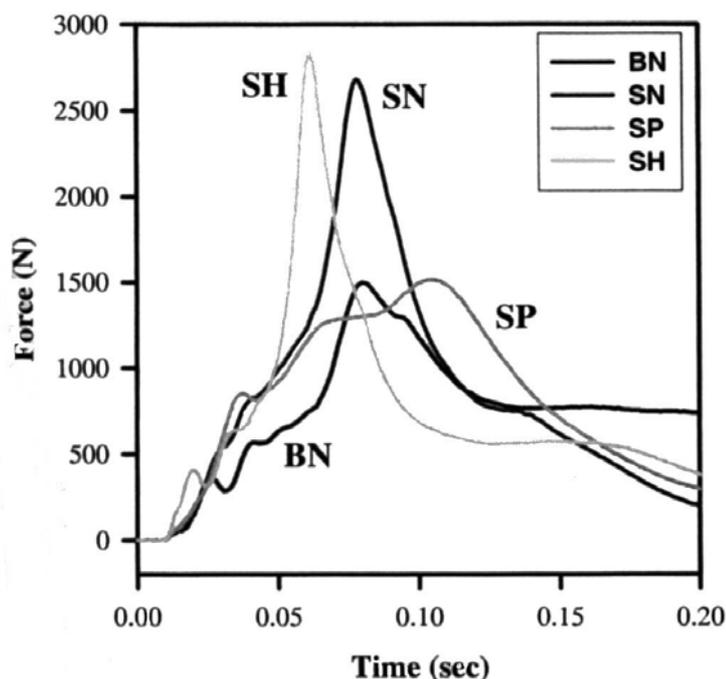
Gráfica 2.- Trazado de las fuerzas de reacción del suelo resultantes en la articulación de la cadera (Bauer y cols., 2001).

Sin embargo, el estudio de Gatto y cols. (1991) muestra como no todas las fuerzas de reacción del suelo se transmiten en igual magnitud en las distintas articulaciones del miembro inferior (cadera, rodilla y tobillo) al recepcionar en diferentes tipos de colchoneta (gráfica 3).



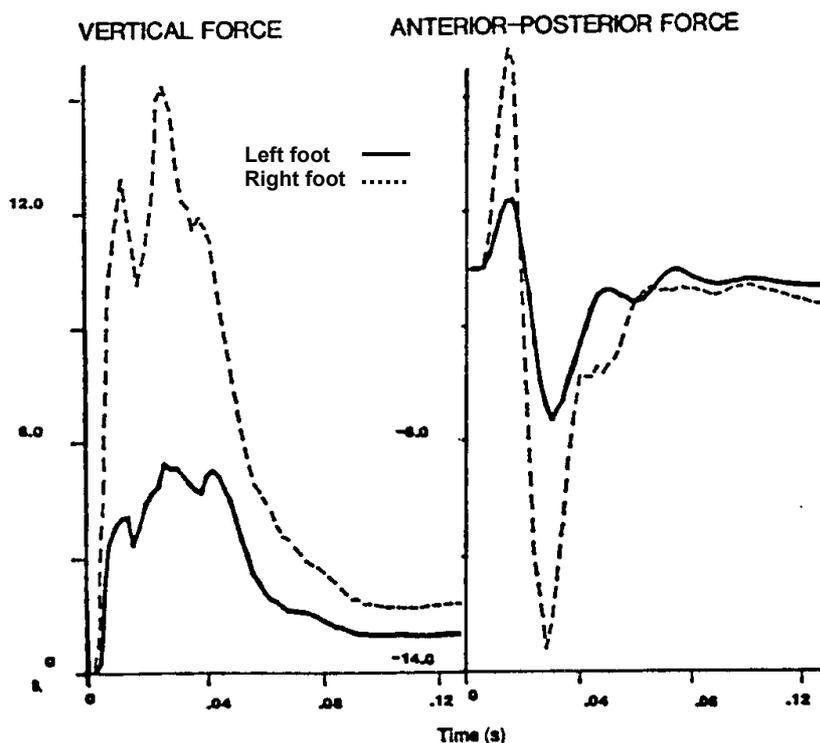
Gráfica 3.- Fuerzas de reacción del suelo producidas en articulaciones de la extremidad inferior al saltar sobre diversas colchonetas (Altura: 100mm; $K_a=1.0$ Nm/deg; $K_k=1.0$ Nm/deg; $K_h=1.0$ Nm/deg; $\theta_{AO}=90$ deg; $\theta_{k0}=90$ deg; $\theta_{ho}=90$ deg) (Gatto y cols., 1991).

Además, la magnitud de las fuerzas de impacto al recepcionar no sólo puede verse modificada por la composición o estructura de la colchoneta, sino que tal y como muestra Brian y cols. (2000), en función de la participación de los distintos elementos músculo-esqueléticos de la extremidad inferior durante la recepción, los valores de fuerza de reacción del suelo y las aceleraciones obtenidas pueden verse modificados. En este sentido, se observa como la recepción en el suelo tras un salto con una flexión de rodilla o bien con una intervención de los músculos del tobillo y de los dedos del pie, produce una disminución de las fuerzas de reacción del suelo y de la aceleración, frente a recepciones en las que no intervienen dichas articulaciones (gráfica 4).



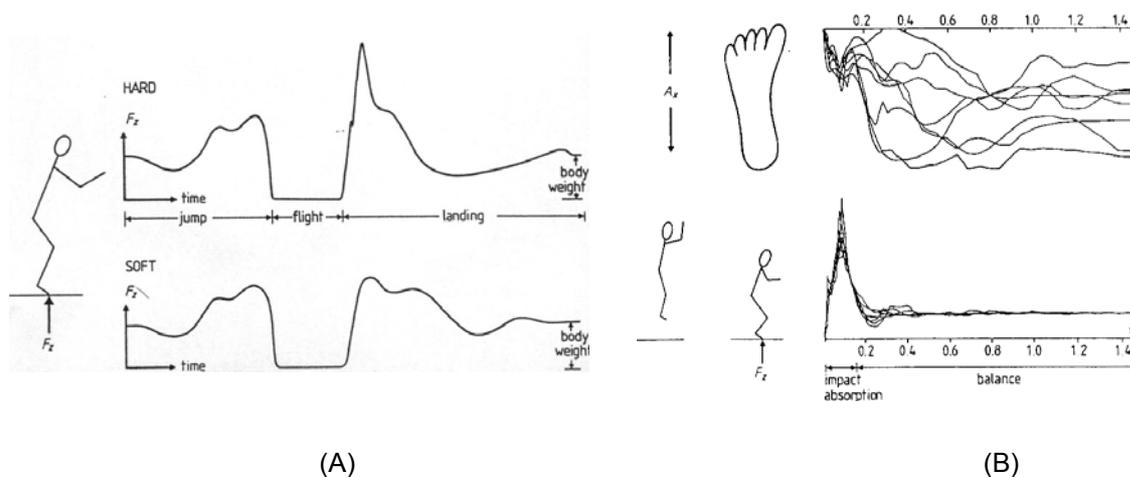
Gráfica 4.- Fuerzas de reacción en el suelo en diferentes tipos de recepción (BN; salto natural, flexionando las rodillas y las manos sobre la cabeza. SN; salto sin ningún tipo de flexión. SP; sin flexionar rodilla, solo músculos de los dedos y pantorrilla. SH; sin flexionar rodilla y con el pie lo más plano posible)(Brian y cols., 2000).

Brueggeman (1985) afirma que las fuerzas de reacción del suelo, durante la salida del aparato, poseen similar valor en cada pierna. No obstante, durante la recepción las fuerzas que ejerce el suelo no se distribuyen de manera simétrica o proporcional entre ambas piernas, y aunque una pierna viera reducida su carga de reacción, la otra la vería incrementada drásticamente, tal y como se observa en la gráfica 5 donde la fuerza de reacción de la pierna derecha posee una mayor magnitud que la izquierda al realizar un doble salto mortal (Panzer y cols, 1987).



Gráfica 5.- Fuerzas de reacción en la pierna para un doble salto mortal asimétrico (Panzer y cols., 1987).

Less (1981) y Panzer y cols. (1987), afirman que el estudio de las recepciones debería centrarse en los primeros 200 ms de la recepción, ya que alrededor de los 30-50 ms se alcanzan las máximas fuerza de reacción del suelo. Así lo muestra el estudio de Less (1981) sobre la influencia de una superficie de recepción dura y otra más blanda tras salto (gráfica 6), donde se observa una diferencia mayor en el pico de fuerza y la aceleración durante la fase de absorción en la superficie de mayor dureza.



Gráfica 6.- (A) Comparación de las fuerzas de reacción vertical tras las recepciones en una superficie dura (hard) y flexible (soft) en un salto vertical. (B) Fase de absorción de impacto y equilibrio posterior (A_x)(Less. 1981).

- **Modificación de las fuerzas de reacción, trabajo y potencia de las articulaciones de la extremidad inferior en una recepción sobre colchonetas de diferente densidad.**

En la interacción de los gimnastas tras recepcionar sobre colchonetas de distinta densidad se han observado similares picos de fuerzas de reacción verticales (Clarke y cols., 1983, en McNitt- Gray y cols. 1994), llegando a la conclusión de que una densidad diferente en la colchoneta no muestran diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en la fuerza máxima de reacción del suelo (Nigg, 1990; Ferris y cols., 1997). El hecho de que no existan diferencias significativas en las fuerzas de reacción sobre diferentes tipos de colchoneta de distinta densidad puede ser explicado por la habilidad del ser humano para adaptarse a diferentes superficies (Nigg, 1990; Ferris y cols., 1997). Esta capacidad para modificar la técnica en función de las condiciones externas, fue introducida con el nombre de "hipótesis de adaptación cinemática" por Bates y cols. (1993) en el caso de fuerzas verticales durante la carrera, y extendida en la fricción por Nigg y cols (1984) (en Llana, 1998). Sin embargo, según McNitt-Gray y cols. (1994) si que se observan diferencias al recepcionar directamente sobre una plataforma de fuerza sin colchonetas, donde se observa una significativa disminución de la fuerza de impacto vertical, aumento de la duración de la fase de recepción y aumento en la flexión de rodilla y cadera.

A nivel articular, también se encuentran diferencias en los momentos de fuerza (Nm) generados, especialmente en las articulaciones del tobillo y rodilla. Fukuda (1988) tras realizar distintos saltos desde una altura de 0.2 m sobre dos plataformas de fuerza de distinta dureza (K1- 49'0 KN/m y K2- 392'0 KN/m), observó como el pico generado por el tobillo fue significativamente diferente en ambos tipos de plataformas, siendo mayor en K1 ($251'3 \pm 52'8$ Nm vs $208'7 \pm 32$ Nm). Por el contrario, observó como los picos de potencia eran significativamente diferentes en la articulación de la rodilla sobre ambas plataformas, siendo mayor el valor cuando la recepción se realizó sobre la plataforma más dura K2 ($-713'7 \pm 158'8$ w vs $-1465 \pm 318'8$ w).

Finalmente, si se compara el grado de participación de las distintas articulaciones (cadera, rodilla y tobillo) con el trabajo ($J \cdot Kg^{-1}$) realizado durante una recepción, el estudio de Devita y cols. (1992) muestra como en la suma del trabajo realizado por las articulaciones del miembro inferior durante la recepción, la rodilla y la cadera realizan una mayor absorción de energía en superficies blandas que en duras.

Como conclusiones al análisis cinético durante las recepciones en dos tipos de superficies dura y blanda, se podría decir:

- En superficies duras, el impacto es amortiguado mediante una rápida e intensa flexión del tobillo, seguido por la articulación de la rodilla y cadera.

- En superficies blandas, la reducción de los picos de fuerza de reacción se producen por una fase de deceleración de los segmentos y por patrones de actividad muscular que anticipan las demandas en la ejecución, fundamentalmente en la rodilla y cadera.

B) Análisis cinemático de la recepción.

Como Gross y Nelson (1988) indican, el patrón de movimientos articulares tras la recepción de un salto vertical comienza con las articulaciones distales para finalizar en las más proximales, involucrando las articulaciones intrínsecas del pie (metatarsofalángica, mediotarsiana y subastragalina), el tobillo, la rodilla y la cadera. Durante la carrera, la contribución del movimiento de pronación en la articulación subastragalina (especialmente cuando lo primero que contacta con el suelo es el talón) contribuye a la amortiguación del impacto, sin embargo, para obtener un mayor efecto amortiguador, las articulaciones principales pasan a ser la rodilla y el tobillo. Sussman y cols. (1988) muestra como entre los movimientos articulares que se realizan tras un salto, la flexión (dorsiflexión) del tobillo, y la flexión de la rodilla (acompañada de una cierta flexión de cadera) son los principales contribuidores en la reducción de las fuerzas tras la colisión del pie con el suelo, quedando la pronación del retropié en un segundo plano.

La contribución de la cadera en la amortiguación de los impactos es también importante, McNitt-Gray (1991) en un estudio realizado con gimnastas que saltaban desde tres alturas distintas, 0.32 m, 0.72 m y 1.28 m, indica que a mayor altura de caída, la flexión de rodilla y cadera aumentan, concluyendo que estas dos articulaciones juegan un papel más importante que el tobillo en la amortiguación de los impactos.

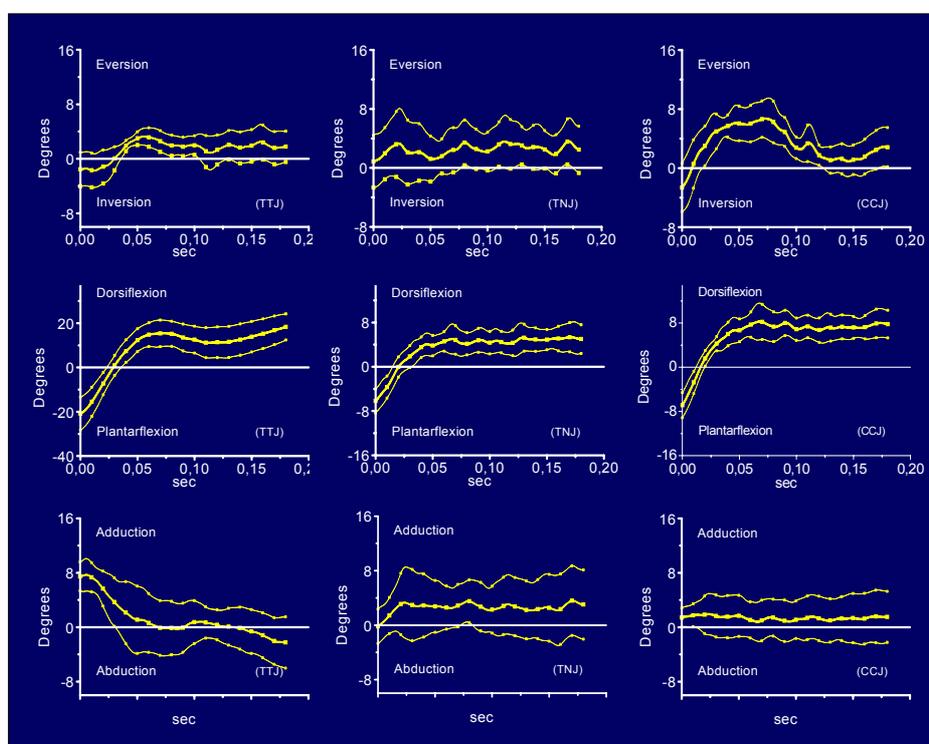
De lo expuesto se infiere que el estudio cinemático de los movimientos deportivos proporciona datos de gran interés, si bien complementarios en estudios relacionados con la amortiguación de impactos, en los que la información obtenida mediante plataformas y/o acelerómetros proporcionan la información más relevante. Los estudios cinemáticos encaminados a estudiar como un sujeto adapta su técnica atendiendo a las características de un impacto dado, según las características del sujeto (básicamente su peso), velocidad de caída y tipo de superficie, deberán centrarse en las articulaciones más sensibles a tales factores que, según la bibliografía consultada, son las del *tobillo, la rodilla y la cadera*.

- **Rango de movimiento articular en la extremidad inferior durante la recepción.**

Si se analiza la biomecánica de la extremidad inferior durante la recepción, se observa como la velocidad y grados de flexión en la rodilla y cadera aumentan a medida que la rigidez de la superficie de recepción aumenta (McMahon y cols., 1979; Denoth y cols., 1981; Clarke y cols., 1983; Frederick, 1983; Fukuda y cols. 1987; Gollhofer, 1987; Nigg y cols., 1987; Nigg y

cols., 1988; McKinley y cols., 1992; Durá y cols. 1999), lo cual podría indicar que los gimnastas modulan su posición del cuerpo en función de las condiciones que posea la superficie.

En cuanto a la cinemática articular del pie durante la recepción, el estudio realizado por Arampatzis y cols. (2002) muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en el ángulo de eversión (pronación) del pie, tanto en la articulación talonavicular como en la calcaneocuboidea. Los máximos rangos de eversión se muestran cuando la recepción se realiza en superficie blanda, sin embargo, no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) en la máxima eversión de las articulaciones tibiotalar, talonavicular y calcaneocuboidea al recibir sobre superficies duras. En cuanto a la abducción-aducción del pie durante la recepción, no se ve influenciada por la densidad de las colchonetas, no obstante, la articulación tibiotalar muestra una clara abducción durante la recepción (gráfica 7).



Gráfica 7.- Eversión vs Inversión, flexión-dorsal vs flexión-plantar y abducción vs aducción de las articulaciones tibiotalar, talonavicular y calcaneocuboidea en recepciones desde 80cm sobre colchonetas duras (Arampatzis y cols., 2002).

- **Aceleración de los segmentos articulares durante la recepción.**

El estudio realizado por Durá y cols. (1999) donde analiza la aceleración en cabeza y tibia, así como los ángulos de flexión en rodilla, cadera y tobillo al recibir tras un drop jump en diferentes superficies (sintéticas de 4mm, 16mm, madera, etc...) muestra como los valores de aceleración en tibia y cabeza varían en función del tipo de superficie (tabla 6).

Parameter	P-value	Error	Sports surface				
			A	B	C	D	E
t_{floor} (s)	0.000	± 0.006	0.387	0.427	0.390	0.413	0.434
t_{air} (s)	0.000	± 0.003	0.566	0.566	0.562	0.574	0.545
a_{head} (g)	0.000	± 0.07	3.39	3.02	3.24	2.96	2.87
a_{shank} (g)	0.040	± 1.43	15.99	13.07	18.55	15.35	12.97
θ_{ankle} (°)	0.000	± 0.34	29.71	29.25	29.01	34.84	26.50
θ_{knee} (°)	0.000	± 0.90	92.61	92.22	89.03	84.23	94.06
θ_{hip} (°)	0.000	± 1.02	90.47	94.28	89.18	98.40	93.47

*The interaction between the surface and the subject was significant

Tabla 6.- Aceleraciones en tibia-cabeza y ángulos de flexión en cadera, rodilla y tobillo en diferentes superficies (Durá y cols., 1999).

Less (1981) muestra diferencias en cuanto a la participación y aceleración de los segmentos corporales ante dos superficies de diferente dureza (gráfico 8). Aunque la recepción se realiza en un tiempo aproximado de un segundo, La absorción del impacto posee una duración aproximada de 150-200 ms, finalizado este tiempo, la deceleración del cuerpo es nula (se ha parado) y la recepción se consideraría finalizada (Lees, 1981).

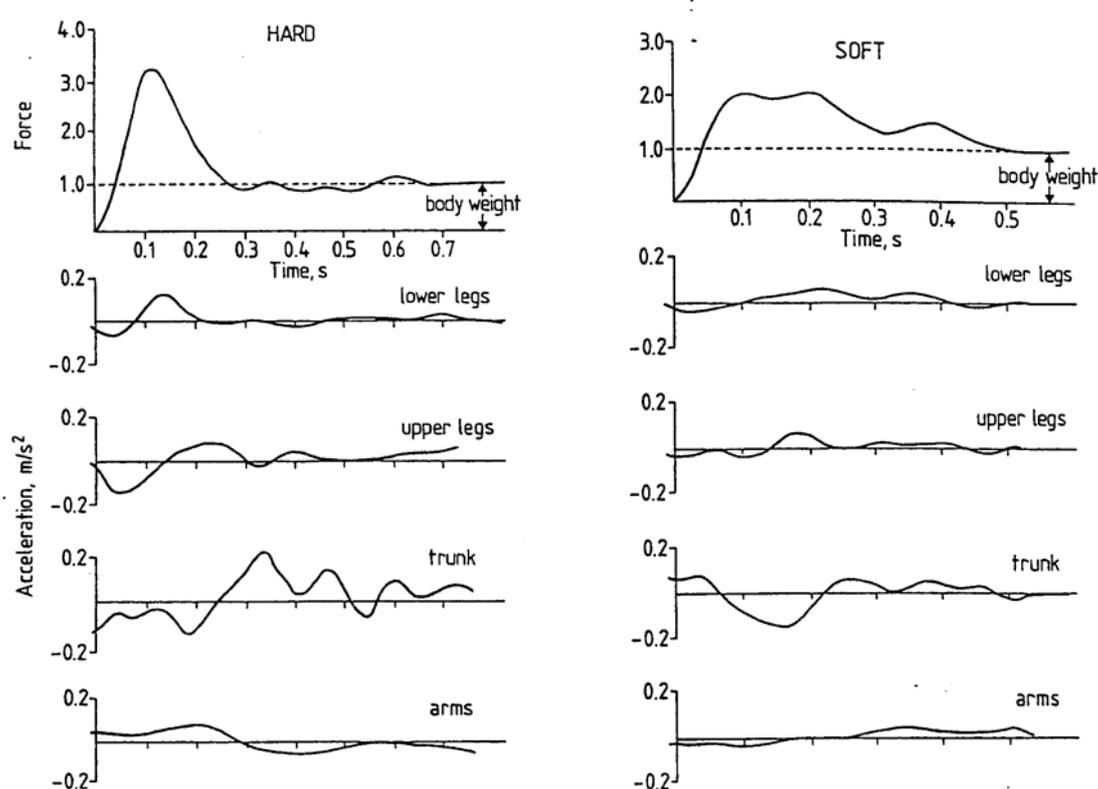


Gráfico 8.- Influencia en la aceleración que sufren distintos segmentos corporales al recepcionar sobre distintas superficies Dura/Blanda (Less, 1981).

1.2.4.2.- Importancia de la altura de llegada a la colchoneta durante la recepción.

Las máximas alturas de salida de los gimnastas desde los aparatos, suelen estar alrededor de los 4m (Kerwin y cols., 1990). En este sentido, en función de la altura de llegada a la colchoneta se encuentran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en distintas variables, tales como (McNitt- Gray y cols., 1994):

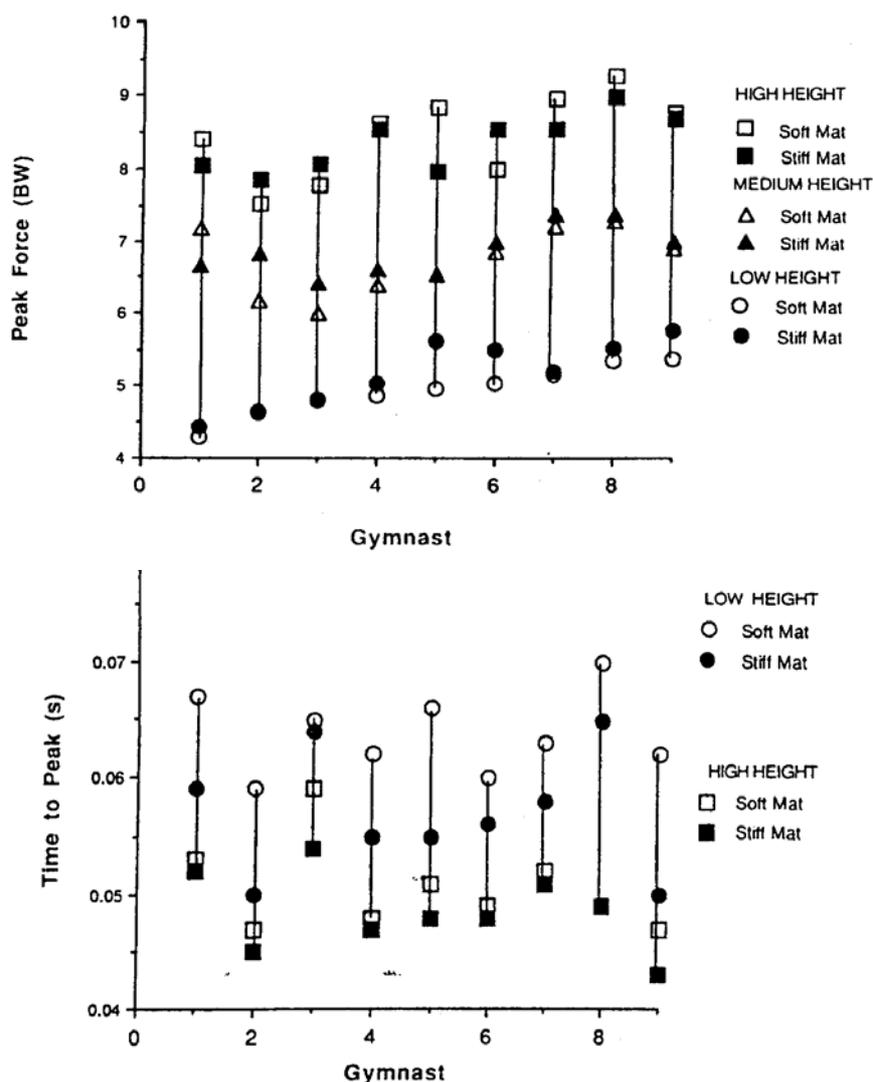
- El pico de la fuerza vertical.
- El tiempo de la fase de recepción.
- El tiempo del pico de la fuerza vertical.
- La cinemática del miembro inferior.

Wilson y cols. (1987) también observan diferencias en los ensayos mecánicos en cuanto al máximo de fuerzas de reacción, altura de rebote y absorción de energía de las colchonetas cuando las masas que impactan sobre ellas parten de alturas diferentes.

A medida que la altura de caída aumenta, se han observado incrementos en la flexión articular (McNitt-Gray, 1991), en las fuerzas de reacción (Hyoku y cols., 1984; McNitt-Gray, 1991), en el pico de los momentos extensores de la articulación y en el trabajo realizado por la musculatura extensora del miembro inferior (McNitt-Gray, 1993).

En el estudio realizado por McNitt-Gray y cols. (1993) se analizaron los cambios producidos en las extremidades inferiores al recepcionar desde tres alturas diferentes. En este estudio, se observa un aumento en el pico del momento extensor, el cual puede ser debido al incremento en el pico de los momentos extensores de la cadera y tobillo realizado para mejorar la ejecución final durante la competición. Además, también se observa un aumento en el trabajo de los músculos del tobillo, rodilla y cadera así como un aumento en la velocidad de impacto. Los resultados comparativos entre gimnastas y atletas, muestran como los gimnastas disipan el impacto empleando largos momentos extensores de tobillo y cadera, en comparación con atletas (no gimnastas) que emplean más grados de flexión de cadera y una duración más amplia de la fase de recepción (McNitt-Gray, 1993).

Se observa como a medida que se incrementa la altura de llegada a la colchoneta se produce un incremento significativo de las velocidades angulares máximas de la rodilla y cadera, un incremento en la duración de la fase de recepción y un incremento significativo en la fuerza de reacción del suelo (McNitt-Gray, 1993) (gráfica 9).



Gráfica 9.- Tiempo y fuerzas de reacción en dos colchonetas (dura y blanda) desde diferentes alturas de recepción (McNitt-Gray y cols., 1993).

Zhang y cols. (1998) muestran los cambios que se producen en la absorción de energía en las extremidades inferiores cuando se realizan recepciones desde diversas alturas y diversas técnicas de recepción (según el grado de mayor o menor flexión de rodilla: suave, normal y rígida). Cabe destacar la consideración que realiza este estudio de las distintas alturas y técnicas para analizar la recepción, ya que realizada de una forma u otra, limita y condiciona el conocimiento real de la recepción.

En el anterior estudio, se observa que las demandas mecánicas en los grupos musculares de las extremidades inferiores aumentan a medida que la altura de caída es mayor. No obstante, dicha demanda no se produce de igual magnitud en las distintas articulaciones; cadera, rodilla y tobillo, ya que el trabajo excéntrico de los flexores plantares del tobillo se incrementa ligeramente, mientras que el incremento del trabajo realizado por los extensores de rodilla y cadera es mayor cuando la altura de la recepción aumenta, con lo que absorben más

energía. Frente a una altura baja, los grupos musculares de tobillo y rodilla absorben más energía en una recepción “rígida”, mientras que los extensores de rodilla y cadera absorbieron más en recepciones “suaves”.

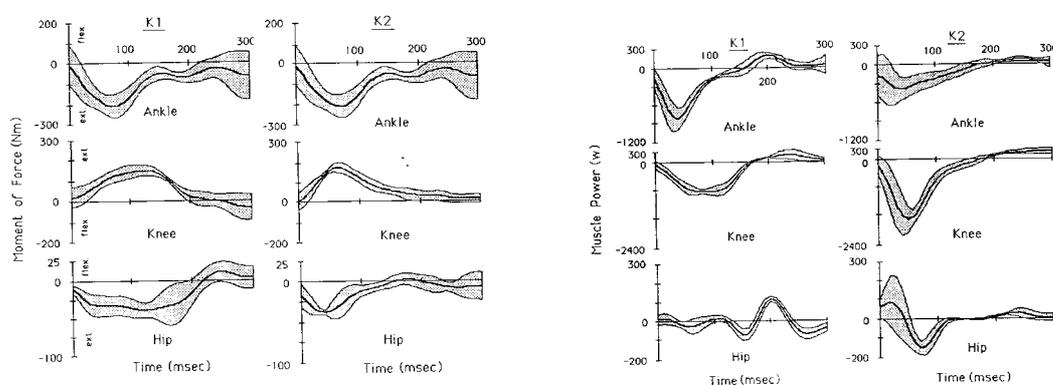
Consecuentemente, la articulación de la rodilla experimenta una elevada demanda mecánica en diferentes alturas y condiciones de salto, y junto con la cadera, son las articulaciones que absorben mayor cantidad de energía.

1.2.4.3.- Análisis biomecánico de la recepción en los criterios de las colchonetas.

Pese a que la investigación en materia de biomecánica de la recepción no es abundante, los estudios realizados aportan información de interés a cerca de los efectos que produce una recepción sobre colchonetas con unas determinadas características.

Uno de los primeros estudios (Brown, y cols., 1995) centrados en obtener criterios para el diseño de colchonetas que reduzcan el impacto durante la recepción, emplearon debajo de la colchoneta una plataforma de fuerzas. Los gimnastas ejecutaron dos tipos de salida en la barra fija con distintos finales de llegada a la colchoneta (“clavado” o tras un giro en el aire). Los resultados mostraron diferentes fuerzas de reacción en los distintos tipos de llegada al suelo, así como también diferentes fuerzas de reacción en función del tipo de colchoneta empleada.

El estudio realizado por Fukuda (1988) fue el primero en sugerir que la dureza que la superficie ofrece podría repercutir en el sistema de control neuromuscular del aparato locomotor humano. En este sentido, la principal conclusión a la que se llega, tras analizar diferentes superficies de recepción, es que en una superficie relativamente dura los músculos extensores de la rodilla deben de absorber energía más rápidamente (incrementando la carga sobre dichos músculos a medida que aumenta la rigidez de la superficie) (gráfica 10).



Gráfica 10.- Momentos de fuerza y Energía muscular en cadera, rodilla y tobillo generados al recepcionar en superficies de distinta dureza (K1; 49'0KN/m, K2, 392'0 KN/m) (Fukuda, 1988).

En cuanto a las características de mayor o menor rigidez de la colchoneta, el estudio llevado a cabo por Gros y Leikov (1994) muestra como la utilización de colchonetas blandas no soluciona el problema de reducción de fuerzas de impacto, ya que son utilizadas básicamente para recepciones o situaciones no controladas. En una salida controlada del aparato, la colchoneta blanda resulta excesivamente comprimida o deformable debido a su comportamiento elástico, lo cual provoca una fijación de los pies y posibles lesiones debidas a excesivos rangos articulares. Otra consecuencia de utilizar superficies relativamente blandas es el mayor tiempo y flexión de la rodilla (Devita, 1992).

En los estudios de Arampatzis y cols. (2002), se muestra como diferentes densidades en las colchonetas produce picos máximos de fuerza diferentes al recepcionar sobre ellas. Además, se ha observado una clara relación entre el área de deformación y la eversión producida en las articulaciones talonavicular y calcaneocuboidea. Estos dos aspectos, elevadas magnitudes de impacto y excesiva eversión articular pueden incrementar el riesgo de lesión en el miembro inferior (Messier y cols., 1988; Stacoff y cols., 2000), siendo dos mecanismos potenciales de lesión. La influencia de las características de la colchoneta en la acción de las articulaciones talonavicular y calcaneocuboidea es bastante alta y no parece posible neutralizarlas por medio de la musculatura, por lo que la colchoneta debería proporcionar un efecto ortopédico en el movimiento medio-lateral del pie (Arampatzis y cols. 2002) de tal manera que la estabilización (equilibrio) del gimnasta no se viera comprometida y el riesgo de lesión en dichas articulaciones disminuya.

Por tanto, se debe enfatizar la importancia de un comportamiento elástico homogéneo en la nueva generación de colchonetas tanto en lugares de entrenamiento como de competición. Este criterio surge tras la observación y análisis de diferentes saltos realizados en distintas superficies, así como los cambios en los gestos adquiridos por los gimnastas que variaban su ejecución en función de las características y propiedades elásticas de la superficie (Sanders y cols., 1991; McNitt- Gray y cols., 1993; Durá y col., 1999), lo cual podría ser motivo de estudio en las colchonetas.

Un aspecto relevante en cuanto al diseño de una colchoneta, es la atención que merecen los bordes, esquinas y, en su caso las colchonetas adyacentes. Las uniones entre colchonetas no deben ser reforzadas con espuma de una mayor densidad, de lo contrario el tobillo puede sufrir lesiones al recepcionar. La técnica comúnmente empleada para colocar adyacentemente bloques de colchonetas más duros en los bordes causa deslaminación y superficies discontinuas, siendo esto posible motivo de lesión. En este sentido, se obtienen mejores resultados (Gros y Leikov., 1994) con inserciones de cuñas alrededor de cada colchoneta.

Atendiendo también a las condiciones de uso de las colchonetas, el estudio realizado por McNitt-Gray y cols (2000), donde se analiza las distintas zonas de recepción tras la salida del caballo en gimnastas masculinos y femeninas, muestra como los gimnastas masculinos entran en contacto con la superficie de la colchoneta más lejos del extremo de la superficie del caballo que las féminas. Consecuentemente, los gimnastas recepcionaban más cerca de las zonas de unión de las colchonetas, obteniéndose en dichas zonas respecto a las más centrales de la colchoneta diferencias en cuanto a la deformación. Por lo tanto, los fabricantes de colchonetas deberían de considerar la ubicación de los pliegues o zonas de unión de las colchonetas en función de su utilización, ya que las zonas y distancias de recepción, pueden diferir en función del género de los gimnastas.

Como conclusiones finales a este último apartado, las investigaciones realizadas en los diferentes estudios biomecánicos de la recepción, muestran resultados que deberían ser considerados en el diseño de una colchoneta. Ya que, en función de las características de la superficie o de la colchoneta (más blandas ó rígidas), la influencia sobre las articulaciones de los miembros inferiores (rangos de movimiento, absorción de energía, intervención muscular, etc...) es diferente. Las colchonetas deberían tener un comportamiento elástico homogéneo, donde la estabilidad y seguridad del gimnasta no quedara comprometida y que el empleo de los materiales empleados para su fabricación atendieran a las necesidades derivadas de los estudios biomecánicos realizados.

1.2.4.4.- Metodología de análisis de las colchonetas mediante ensayos con gimnastas.

La muestra de sujetos o deportistas empleados en estudios de recepción sobre diferentes superficies deportivas y/o colchonetas difiere, existiendo estudios con casos únicos (Huaying y col., 1995) ó con grupos de 6 y 8 gimnastas clasificados en finales mundiales por aparatos (Spiros, 1992; Brown y cols., 1995; Geiblinger, 1995). No obstante, el número de sujetos frecuentemente empleado para el estudio biomecánico de la recepción sobre diferentes superficies deportivas y colchonetas está comprendido entre 4-8 sujetos (Özgüven y cols., 1988; Devita y cols., 1992; Durá y cols., 1999).

Entre éstos, cabe destacar dos estudios realizados con gimnastas en los cuales se contemplan dos aspectos no considerados anteriormente. En este sentido, McNitt-gray y cols. (1993) realizaron un análisis referente a parámetros ajenos al salto como: años de práctica de la modalidad, altura, peso, edad y longitud del pie. Por su parte, Spiros (1992) incluyó dentro del análisis de la recepción un parámetro subjetivo como era la valoración de jueces, con lo que se pretendía garantizar la validez del salto y crear exigencias en el mismo similares a la competición. Por lo tanto, la utilización y control de variables de estudio diferentes a las meramente mecánicas, pueden ayudar a comprender mejor el mecanismo de la recepción y la influencia de la colchoneta.

Debido a la complejidad que supone analizar la recepción de un gimnasta tras la salida de un aparato, el salto más frecuentemente utilizado y adaptado al estudio de la recepción es el “Drop jump”. (McNitt-Gray., 1991; McNitt-Gray y cols., 1994; Song-Ning y cols., 2000; Jeremy, y cols., 2001; Brian, y cols., 2001; Arampatzis y cols., 2002;).

Existen, no obstante, investigaciones (Henning, 1987; Harwood, 1991; Spiros, 1992; Brown y cols., 1995; Geiblinger, 1995) que analizan la recepción del gimnasta sobre la colchoneta empleando como habilidad gimnástica el doble salto mortal tanto agrupado/extendido como realizado hacia atrás/adelante. La razón por la cual el doble salto mortal es elegido en el análisis de varios estudios se basa, fundamentalmente, en que todas las rutinas de gimnasia incluyen ejercicios de doble salto mortal atrás, debiéndose considerar como una habilidad básica “obligada” en la ejecución de cualquier gimnasta (Henning y cols., 1987) que será ejecutada diariamente y con una frecuencia superior al resto de las habilidades gimnásticas.

En cuanto a las técnicas instrumentales empleadas para el análisis de la recepción en gimnasia, las más utilizadas son: las técnicas de fotogrametría, dinamometría y acelerometría.

▪ FOTOGRAMETRÍA.

La fotogrametría es una técnica instrumental que permite obtener imágenes y medir la información que contienen (figura 14). Mediante esta técnica es posible estudiar el efecto sobre variables cinemáticas que produce la colchoneta en la recepción y estabilización del gimnasta sobre la misma, siendo varios los estudios en los cuales se ha empleado (Panzer y cols. 1987; Devita y cols. 1992; McNitt-Gray y cols. 1994; Brian y cols. 2000).

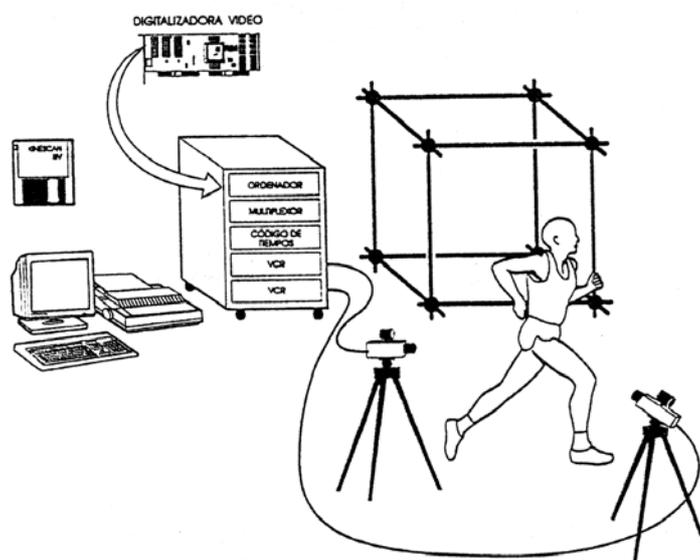


Figura 14.- Esquema del instrumental necesario para realizar un estudio cinemático mediante técnicas de fotogrametría – vídeo 3D (modificado de Vera y Hoyos. 1993).

La utilización de esta técnica requiere la utilización de cámaras (Henning, 1987; Fukuda, 1988; Yakei, 1991; Harwood, 1991; Spiros, 1992; McNitt- Gray y cols., 1993; Geiblinger, 1995; Brown y cols. 1995). No obstante, el número de cámaras empleadas difiere en las distintas investigaciones realizadas, empleando una cámara (Spiros, 1992) o varias (Brown y col. 1995; Geiblinger, 1995) con diferentes velocidades de filmación (50Hz, 70Hz, 160Hz, 200Hz o incluso superiores).

Las cámaras suelen estar ubicadas sobre la superficie donde se van a desarrollar la recepción, grabando fundamentalmente la salida del aparato y la recepción, por lo que se discriminan las secuencias anteriores a la salida (Geiblinger, 1995). Otra opción consiste en colocar una cámara enfocando al movimiento global y, la otra grabando la posición del pie sobre la colchoneta (Henning y cols., 1987).

Uno de los trabajos recientes es el de Arampatzis y cols. (2002), donde se emplean técnicas de fotogrametría para el estudio del rango de movimiento de diversas estructuras del pie junto con el análisis de las fuerzas generadas tras realizar la recepción en una colchoneta. Este estudio, centra su atención en el pie (figura 15) y subdividen el mismo en segmentos articulares: tibiotalar, talonavicular y calcaneocuboidea. Sin embargo, dicha propuesta debe considerar que en el gesto técnico de la recepción sobre una colchoneta no sólo intervienen las articulación/es del pie (tobillo) debiéndose considerar también otras articulaciones y grupos musculares del miembro inferior (rodilla y cadera).

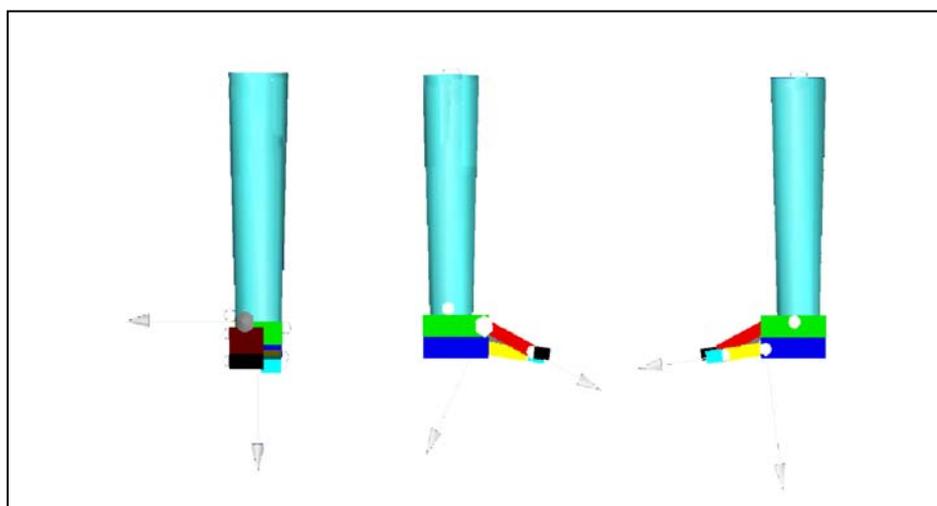


Figura 15 .- Segmentación del pie de análisis (Arampatzis y cols., 2002).

- **DINAMOMETRÍA.**

Se entiende por técnicas dinamométricas aquéllas que permiten el registro de las cargas mecánicas actuantes entre dos o más cuerpos. En el estudio de las cargas mecánicas de mayor interés generadas entre la colchoneta y la superficie, el instrumental que más se adapta para la obtención de estas variables son las plataformas de fuerza (ó dinamométricas) (figura 16).

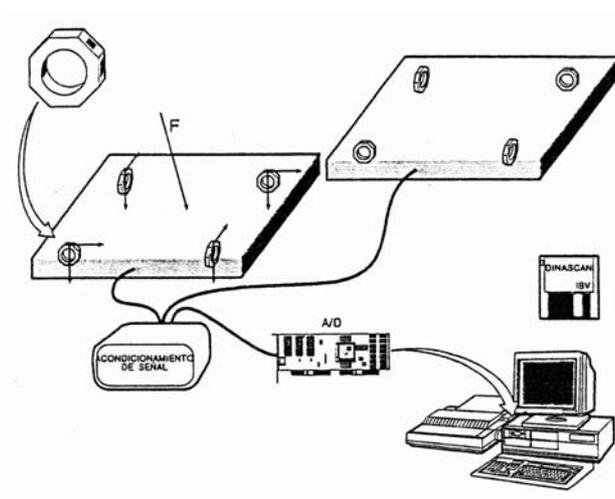


Figura 16.- Esquema del instrumental necesario para realizar un estudio cinético mediante plataformas de fuerza DINSACAN/IBV (Vera y Hoyos., 1993).

Respecto a la colocación de la plataforma y el estudio del salto, ésta varía en función de los objetivos del estudio. En algunos casos, la plataforma se coloca sin ningún tipo de material encima (Sanders y Allen., 1991), aunque en la mayoría de los casos se cubren con colchonetas de diferente densidad (McNitt- Gray y cols., 1993; Fukuda, 1988).

- **ACELEROMETRÍA.**

Los acelerómetros son transductores de aceleraciones, es decir, instrumentos que transforman la aceleración experimentada en una señal eléctrica. Además, el equipo de acelerometría viene complementado mediante una unidad electrónica de alimentación y de una tarjeta de señales que transforma la señal analógica recibida en una señal digital para poder ser registrada y almacenada en un PC (figura 17).

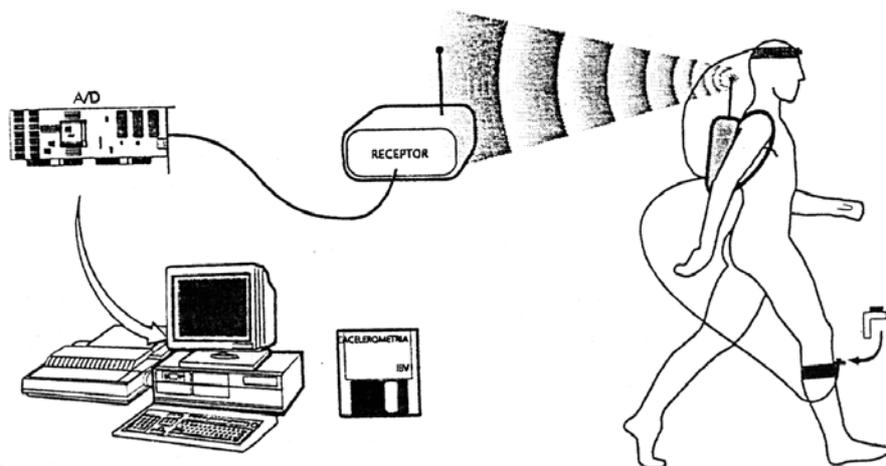


Figura 17.- Esquema del instrumental necesario para realizar un estudio de Acelerometría con dos acelerómetros, uno en la tibia y otro en la cabeza, y adquisición de la señal por telemetría (modificado de Vera y Hoyos., 1993).

Los acelerómetros son utilizados para valorar la transmisión de los impactos a través del sistema músculo-esquelético, siendo recomendables para medir dichas aceleraciones en los segmentos óseos (Light y cols., 1980; Voloshin y cols., 1981; Valiant y cols., 1987; Smeathers, 1989; Nigg y cols., 1994; Brizuela, 1996; Llana, 1998;). En diversos estudios de análisis de la marcha (Voloshin y cols, 1982; Voloshin y cols., 1985) se ha mostrado como existe una relación entre aquellos sujetos que poseían un mayor dolor articular y su capacidad de amortiguación. Por lo tanto, parece lógico pensar que las recepciones sobre las colchonetas en gimnasia deportiva presenten valores mayores que los obtenidos durante la marcha, y pueda existir cierta relación entre la magnitud del impacto y el índice de lesiones sufridas por los gimnastas.

La correcta medición de las aceleraciones implica medir lo que ocurre en los segmentos óseos, lo que implica fijar el acelerómetro al hueso mediante agujas de Steinman. Sin embargo, diversos estudios (Light y cols, 1977; Light y cols., 1980) han mostrado una buena correlación entre las medias efectuadas con acelerómetros anclados directamente al hueso y acelerómetros fijados a la piel mediante vendajes (Llana, 1998). No obstante, para utilizar acelerómetros directamente a la piel se deben seguir una serie de recomendaciones (Forner y cols., 1995);

- La ubicación ha de elegirse de manera que entre el acelerómetro y el hueso exista la mínima capa posible de tejido blando.
- El acelerómetro ha de estar firmemente fijado a la piel de manera que no vibre con independencia de ésta. Para lograrlo, se recomienda fijarlo mediante cinta adhesiva de doble cara y un vendaje compresivo.
- La masa del acelerómetro ha de ser inferior a 4 gramos.

El empleo de este sistema presenta una serie de ventajas así como de inconvenientes. Como ventajas cabe destacar la posibilidad de representar la gráfica temporal de la aceleración en tiempo real y la alta frecuencia de muestreo a que permite realizar los registros. El mayor inconveniente es el hecho de tener que instrumentar al sujeto (tiempo de instrumentación y posibles molestias).

- **Otras técnicas instrumentales:**

- ***Electrogoniometría:***

Los electrogoniómetros son transductores de ángulos (generalmente potenciómetros lineales), es decir, instrumentos que transforman el ángulo medido en una señal eléctrica, de manera, que colocados en una articulación de interés, permiten conocer la evolución de la posición angular en el tiempo. Estos pueden ser uniaxiales, biaxiales o triaxiales.

Similar a otros tipos de transductores, los electrogoniómetros necesitan de una unidad electrónica de alimentación y de una tarjeta de adquisición de datos (conversor analógico digital o A/D) que transforme la señal analógica (señal continua) en señal digital (señal discreta) para poder ser registrada y almacenada en un PC (figura 17).

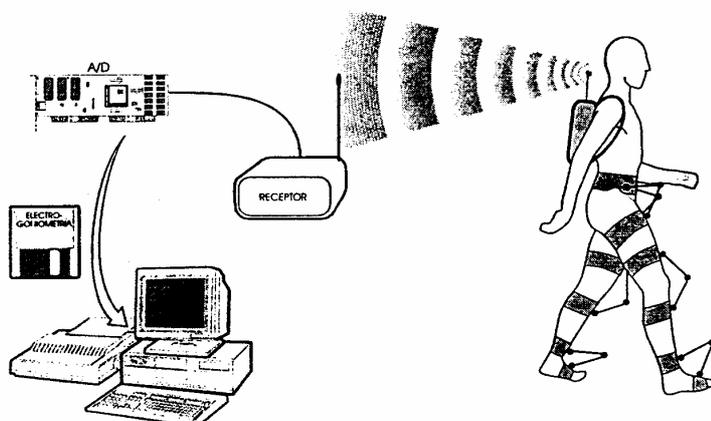


Figura 18.- Esquema de un sistema de electrogoniometría (modificado de Vera y Hoyos, 1993).

Las principales ventajas de este sistema de medida radican en la rapidez en la captación de las señales, de hecho, es posible contemplar la gráfica temporal de los ángulos medidos en la pantalla de un ordenador en tiempo real, así como la posibilidad de muestrear frecuencias muy altas, por ejemplo, superiores a 500 Hz. Además, los valores angulares registrados pueden ser tratados matemáticamente y obtener, a través de su primera derivada respecto al tiempo, la velocidad y, a partir de su segunda derivada temporal, la aceleración angular (Vera y cols., 1985).

El principal inconveniente de esta técnica radica en el hecho de tener que instrumentar al sujeto con los electrogoniómetros que, además, necesitarán de un cableado para conectarlo a la unidad electrónica o, en su defecto, el sujeto tendrá que portar una mochila con los equipos electrónicos de alimentación y de emisión telemétrica de la señal, lo que puede dificultar la normal ejecución de los movimientos en el estudio.

1.2.4.5.- Conclusiones a la biomecánica de la recepción.

Como se observa, la descripción biomecánica de la recepción proporciona un amplio campo de conocimientos sobre los efectos que produce una recepción en un determinado tipo de superficie o colchoneta. En este apartado, se han mostrado las elevadas magnitudes de impacto alcanzadas, los diferentes rangos de movimiento en las distintas articulaciones, así como diversos parámetros obtenidos en los estudios realizados sobre la recepción en diferentes tipos de superficies. Además, se ha destacado la gran participación de diferentes grupos articulares de la extremidad inferior (cadera, rodilla, tobillo y pie) en función de diferentes factores como la altura del salto, densidad de la colchoneta, velocidades de llegada, etc...

Dado que los gimnastas sufren actualmente un porcentaje elevado de lesiones (fundamentalmente en la extremidad inferior) durante la recepción sobre la colchoneta y, a la vista de las elevadas magnitudes que deben soportar las estructuras osteo-articulares del gimnasta, sería de interés el considerar la posibilidad de aplicar estudios biomecánicos en los criterios establecidos por las diferentes normativas en materia de colchonetas, dado que los ensayos mecánicos que se realizan no simulan ni contemplan las cargas reales a las cuales se ven sometidos los gimnastas durante la recepción, pues ni la altura de llegada a la colchoneta, el peso de los gimnastas o las velocidades de llegada nada se asimilan a la realidad. Por lo tanto, el considerar el factor humano en el análisis de las propiedades de la colchoneta podría permitir reducir el elevado número de lesiones asociadas a elevados impactos o falta de estabilidad sobre la colchoneta.

1.2.5.- CONCLUSIONES AL ESTADO DEL ARTE.



El siglo XX puede ser considerado como el siglo donde el desarrollo e investigación deportiva han alcanzado su máxima expansión. La mejora de elementos materiales y de equipamiento, así como de sistemas que permitan mejorar el análisis de los gestos deportivos, ha contribuido al desarrollo del rendimiento y protección de los deportistas.

Dentro de las distintas líneas de investigación en el mundo deportivo, una de las más recientes es la centrada en el desarrollo de material y equipamiento adaptado a las necesidades de los deportistas. En este sentido y en el ámbito de la gimnasia, la investigación deportiva en materia de colchonetas ha contribuido en gran medida al conocimiento de los efectos producidos sobre el gimnasta tanto en lo referente a las variables cinéticas como a las cinemáticas durante la recepción.

Pese a que existen normativas que establecen los criterios que debe cumplir una colchoneta, las lesiones en gimnastas y concretamente durante la recepción tras un salto o salida de aparato no disminuyen. Estas lesiones pueden ser motivo suficiente para el abandono de la práctica deportiva de muchos gimnastas, y pese a que la naturaleza de algunas lesiones no puede ser evitada, existe un determinado tipo de lesiones (como por ejemplo aquellas lesiones articulares que son consecuencia de sucesivos impactos de elevada magnitud) que podrían prevenirse utilizando elementos adecuados de protección como son las colchonetas. Por lo tanto, dado que los dos mecanismos principales de lesión; elevados impactos e inestabilidad en la colchoneta, no se reducen en porcentaje de lesión, posiblemente sea necesario replantear si los criterios que actualmente siguen las normas son adecuados o no.

La aportación de los estudios biomecánicos para establecer nuevos criterios de diseño en las colchonetas puede ser de gran ayuda, ya que se analiza la interacción entre el gimnasta y la colchoneta, contrariamente a lo que ocurre actualmente en las normativas, donde la colchoneta es analizada de manera aislada mediante ensayos. Las aportaciones de estos estudios en los criterios normativos de las colchonetas podrían suponer un aumento en la seguridad para la ejecución de técnicas deportivas y protección frente a lesiones, sin por ello disminuir el rendimiento deportivo. En este sentido, mediante esta Tesis Doctoral se pretende ampliar el conocimiento en materia de colchonetas para gimnasia deportiva, no sólo en cuanto a las características de diseño sino también a los efectos producidos sobre el gimnasta durante la recepción en las mismas y su relación con los mecanismos de lesión, a fin de trasladarlo a los métodos de ensayo existentes.

1.3. - OBJETIVOS DE LA TESIS.

Tras la revisión bibliográfica realizada en base a epidemiología, normativa y estudios biomecánicos en materia de colchonetas para la gimnasia deportiva, se observa como, a pesar de la existencia de ensayos normativos que establecen los criterios en las propiedades de una colchoneta, el elevado número de lesiones en los gimnastas no se ha reducido. En este sentido, las hipótesis (H) de las que parte esta Tesis Doctoral para explicar el elevado número de lesiones son:

- H1.- Que los ensayos mecánicos propuestos por las distintas normas, no midan todos los aspectos o propiedades que se deberían de medir en una colchoneta.
- H2.- Que los ensayos mecánicos según norma, no se ajusten a lo que realmente ocurre durante la recepción, por lo que los criterios que se establecen en las colchonetas no sean los más adecuados y necesiten ser revisados.

Considerando los principales mecanismos de lesión en gimnasia, suelen estar relacionados con:

1. Las elevadas magnitudes y frecuencias de impacto alcanzadas durante la recepción: con un aumento de las fuerzas de reacción, de las aceleraciones y de distintos rangos articulares.
2. La inestabilidad de distintos sistemas articulares, fundamentalmente con un aumento en el rango articular de la extremidad inferior, principalmente en la articulación del tobillo.

Dado que existen una serie de normativas en las colchonetas, y el número de lesiones no se reduce, el **objetivo principal** de esta Tesis Doctoral está dirigido a resolver las hipótesis de partida que explicasen la elevada incidencia de lesión, dirigiéndose a:

- Analizar los mecanismos de lesión en gimnasia y su relación con los criterios normativos de las colchonetas.

En base a este objetivo general y relacionado con las hipótesis de partida, se desarrollaron una serie de **objetivos parciales**, tales como:

1. Identificar qué aspectos consideran gimnastas y entrenadores como más importantes en una colchoneta y sus posibilidades de aplicación.
2. Analizar si la norma predice diferentes variables biomecánicas durante la recepción del gimnasta y su relación con los mecanismos de lesión.

1.4.- PLAN DE TRABAJO.

En base a las hipótesis (H1 y H2) de partida planteadas en esta Tesis Doctoral, se diseñó un plan de trabajo formado por cinco fases, tal y como muestra el diagrama 5. Las dos primeras fases estuvieron centradas en identificar cuales son los aspectos o problemas más importantes en una colchoneta y sus posibles soluciones. La tercera y cuarta fase permitieron estudiar distintas variables mecánicas y biomecánicas. Finalmente, y en base a los resultados obtenidos en los estudios anteriores, la última fase analizó si la norma predice lo que le ocurre al gimnasta durante la recepción y su relación con los mecanismos de lesión.

- **FASE 1.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

La amplia revisión bibliográfica realizada sobre la literatura más relevante y actual en materia de colchonetas y gimnasia deportiva, estuvo centrada fundamentalmente en cuatro áreas temáticas: aspectos epidemiológicos en la gimnasia deportiva, criterios normativos, ensayos mecánicos y características biomecánicas de la recepción. Así mismo, se indagó en los métodos y técnicas instrumentales empleadas en diferentes estudios.

- **FASE 2.- ESTUDIOS DE OPINIÓN Y PANELES DE USUARIOS.**

Los paneles de usuarios y expertos, dentro de la metodología QFD, fue la técnica utilizada en esta investigación para obtener información sobre las especificaciones (propiedades y características) en una colchoneta, así como las posibles soluciones a los problemas planteados. En total se realizaron 3 paneles, con la participación de gimnastas, entrenadores, fabricantes y diverso personal técnico. Dos de estos paneles se realizaron en centros de alto rendimiento (CAR Madrid y CAR Sant Cugat), y, un tercero, en el IBV.

El tratamiento de la información de estos paneles, permitió determinar una serie de especificaciones en el diseño de colchonetas para la gimnasia deportiva.

- **FASE 3.- DISEÑO DE EXPERIENCIAS Y ESTUDIOS MECÁNICOS.**

- **FASE 3.1.- Selección de muestras y materiales para el diseño de las colchonetas.**

Con las especificaciones de diseño obtenidas en la segunda fase, se fabricaron las nuevas muestras de colchonetas que iban a ser analizadas en los estudios posteriores.

FASE 3.2.- Puesta a punto y adaptación del instrumental de medida.

Paralelamente, se llevaron a cabo diversos ensayos preliminares en laboratorio para la obtención de las variables de interés, ya que fue necesario adaptar el instrumental a las condiciones de ensayo requeridas según norma.

Finalmente, y tras la construcción y puesta a punto del instrumental de medida, se llevaron a cabo los ensayos mecánicos sobre una muestra de 23 de colchonetas. El tratamiento informático y estadístico de los resultados en los ensayos (deceleración, deformación y devolución de energía) permitió analizar el comportamiento y seleccionar una muestra de colchonetas con diferentes resultados para analizar posteriormente su efecto durante la recepción.

- **FASE 4.- ESTUDIOS BIOMECÁNICOS Y DE PERCEPCIÓN.**

Con el objetivo de obtener las variables biomecánicas de análisis en estos estudios, se llevaron a cabo diversos ensayos preliminares en el laboratorio del IBV, a fin de poner a punto y adaptar el instrumental necesario. Paralelamente, se diseñó un modelo de encuesta que permitiera analizar la percepción que el gimnasta tuviera al recepcionar en las colchonetas de la muestra.

Los estudios biomecánicos y de percepción se realizaron con una muestra de cinco gimnastas y seis colchonetas. Finalmente, se realizó un tratamiento informático y estadístico de los datos registrados en los diferentes estudios de: acelerometría, dinamometría, electrogoniometría y presurometría, así como resultados obtenidos en los estudios de percepción.

- **FASE 5.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS CONJUNTOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.**

Según los objetivos planteados en la tesis, en la última fase se desarrolló el análisis estadístico que permitió obtener los resultados del estudio, discusiones y conclusiones en relación a las hipótesis de partida.

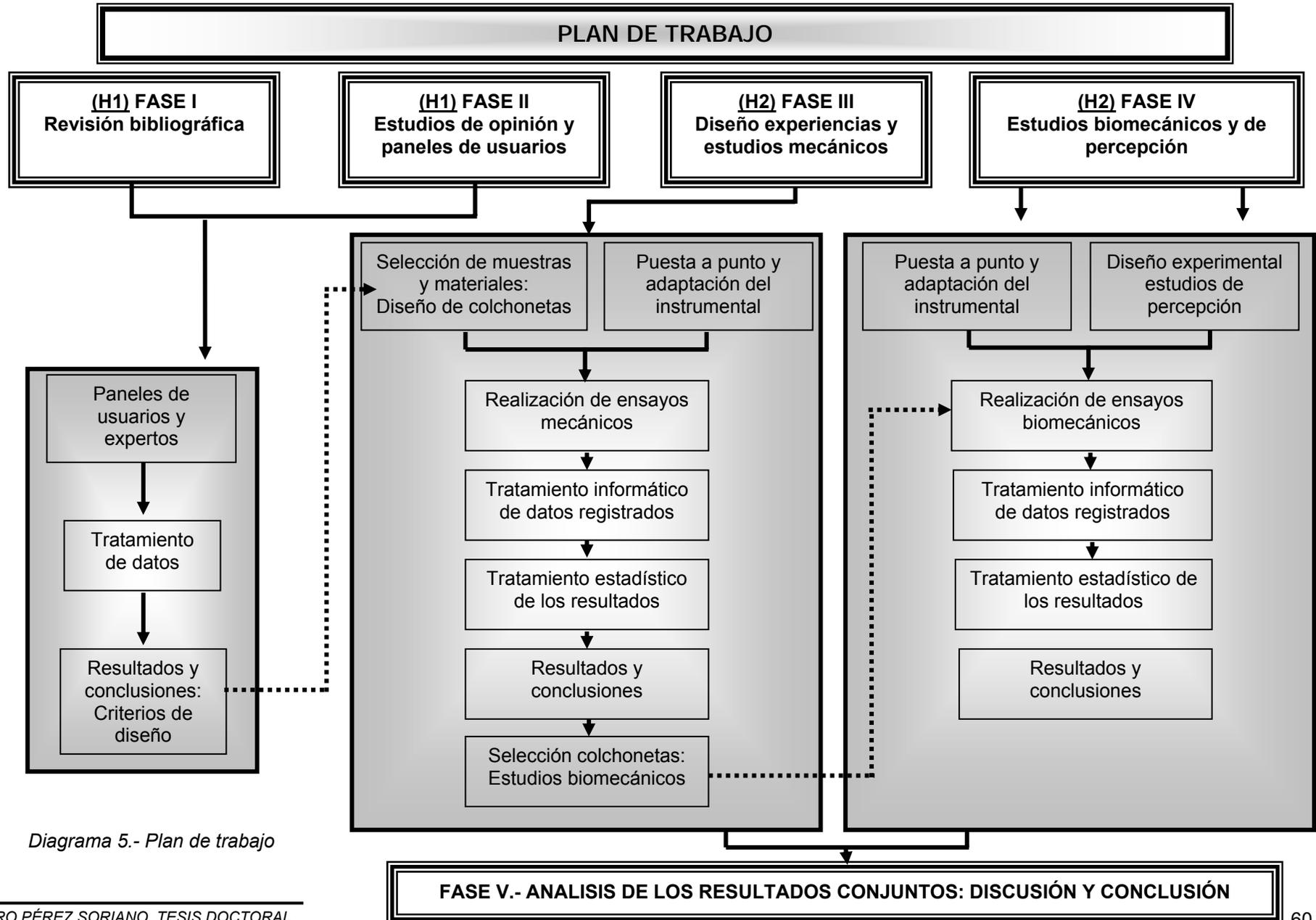


Diagrama 5.- Plan de trabajo

ÍNDICE MATERIAL Y MÉTODOS

2.- MATERIAL Y MÉTODOS.....	61
2.1.- Estudios de opinión-identificación de especificaciones.....	63
2.1.1.- Aspectos analizados.....	63
2.1.2.- Técnicas de medida utilizadas.....	63
2.1.2.1.- Descripción de la metodología QFD.....	63
2.1.2.2.- Paneles de usuarios y expertos.....	64
2.1.3.- Diseño de experiencias: estudios de opinión – identificación de especificaciones.....	67
2.1.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	68
2.2.- Estudios mecánicos.....	69
2.2.1.- Aspectos analizados.....	69
2.2.2.- Instrumentos de medida utilizados.....	69
2.2.3.- Diseño de experiencias: ensayos mecánicos.....	71
2.2.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	75
2.3.- Estudios biomecánicos.....	76
2.3.1.- Diseño de experiencias.....	76
2.3.1.1.- Estudios y variables de análisis durante la recepción.....	76
2.3.1.2.- Descriptivos de la muestra de gimnastas.....	77
2.3.1.3.- Protocolo de salto sobre la colchoneta empleado.....	77
2.3.2.- Estudios de presurometría.....	81
2.3.2.1.- Aspectos analizados.....	81
2.3.2.2.- Instrumentos de medida utilizados.....	81
2.3.2.3.- Diseño de experiencias.....	83
2.3.2.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	84
2.3.3.- Estudios de dinamometría y acelerometría.....	86
2.3.3.1.- Aspectos analizados.....	86
2.3.3.2.- Instrumentos de medida utilizados.....	86
2.3.3.3.- Diseño de experiencias.....	90
2.3.3.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	91

2.3.4.- Estudios de electrogoniometría.....	93
2.3.4.1.- Aspectos analizados.....	93
2.3.4.2.- Instrumentos de medida utilizados.....	93
2.3.4.3.- Diseño de experiencias.....	94
2.3.4.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	95
2.3.5- Estudios de percepción.....	97
2.3.5.1.- Aspectos analizados.....	97
2.3.5.2.- Técnicas de medida utilizadas.....	97
2.3.5.3.- Diseño de experiencias.....	97
2.3.5.4.- Técnicas de tratamiento de datos.....	98

2.- MATERIAL Y MÉTODOS.

2.1.- ESTUDIOS DE OPINIÓN-IDENTIFICACIÓN DE ESPECIFICACIONES.

Estudios para la identificación de especificaciones en el diseño y valoración subjetiva de colchonetas para la gimnasia deportiva.

2.1.1.- Aspectos analizados.

En base a la primera hipótesis planteada en esta Tesis Doctoral, a cerca de si los ensayos mecánicos propuestos por las distintas normas miden correctamente todas propiedades importantes en una colchoneta, se consideró necesario primero conocer cuales eran las especificaciones de una colchoneta, identificando los problemas y las necesidades que actualmente existen. Para tal fin, los objetivos planteados en los estudios de opinión fueron:

- 1.- Conocer los problemas que actualmente identifican los gimnastas, técnicos y especialistas en las colchonetas.
- 2.- Traducir a propiedades mecánicas y de diseño los problemas planteados.
- 3.- Clasificar, por orden de importancia, cuales son los problemas identificados y susceptibles de mejora.

2.1.2.- Técnicas de medida utilizadas.

Para la identificación de las especificaciones en el diseño de las colchonetas, se empleó una metodología utilizada en el desarrollo de productos orientados al usuario, concretamente la utilización parcial de la metodología QFD (*“Quality Function Deployment”*) junto con una herramienta de apoyo denominada *“Paneles de usuarios y expertos”* (en Page y cols., 2001).

2.1.2.1.- Descripción de la metodología QFD.

QFD son las siglas del término inglés *“Quality Function Deployment”*, cuya traducción más generalizada es *“despliegue de la función de calidad”*. La aplicación del QFD significa introducir el concepto de *“calidad”* en el ámbito del diseño de un producto, en este caso, una colchoneta para la gimnasia deportiva. En líneas generales, el QFD consiste en la obtención de los requisitos que desean los usuarios de un producto (partiendo de sus necesidades u otros aspectos) y en la traducción en cascada de dichos requisitos a especificaciones de diseño cada vez más detalladas, llegando incluso a la definición del proceso de producción (aspecto no alcanzado en esta tesis).

La aplicación de esta metodología consta de una serie de fases, tales como (modificado de Page y cols., 2001):

- *Fase 1.- Definición estratégica.*

La aplicación QFD se inicia con un análisis del estado actual del producto a estudiar con respecto al de la competencia y de las necesidades del mercado.

- *Fase 2.- Diseño del concepto.*

Traducción de las necesidades del usuario en términos de características fácilmente evaluables en el producto (objetivos de diseño), presentadas en un apartado denominado "QUES".

- *Fase 3.- Diseño de detalle.*

Planteamiento de una solución técnica para la consecución de los objetivos planteados en la fase anterior. Exposición estructurada y en detalle de las implicaciones derivadas de la solución propuesta. Presentado en un apartado denominado "COMOS".

- *Fase 4.- Ensayo y verificación.*

Determinación de los ensayos de resistencia y durabilidad a realizar sobre el producto, de modo que la aptitud de éstos sea significativa de una fiabilidad suficiente para el usuario, según el uso previsto del producto. Determinación de las pruebas de uso.

- *Fase 5.- Producción y comercialización.*

Definición de las necesidades del usuario en términos de servicio del producto. Exposición estructurada y en detalle de las implicaciones de la propuesta de servicio planteada.

En base a los objetivos de la tesis, únicamente se aplicaron las tres primeras fases de esta metodología referentes a la identificación de problemas, soluciones y jerarquización de su interacción. La aplicación de la metodología QFD se inició captando la opinión de los gimnastas y técnicos en gimnasia deportiva, cuyo análisis proporcionó una valoración de los aspectos a transformar en objetivos de diseño. Una vez identificados los problemas y necesidades, se determinaron las posibles soluciones a los problemas planteados, empleándose, para ello, una herramienta de apoyo en el diseño y desarrollo de productos, denominada "paneles de usuarios y expertos".

2.1.2.2.- Paneles de usuarios y expertos.

Estos paneles son un método para la obtención de las opiniones de un colectivo de personas respecto a un producto basado en una técnica participatoria de entrevista en grupo. Su objetivo es la identificación de oportunidades de mejora de atributos, funciones o aspectos

relevantes de un producto desde el punto de vista de los compradores, prescriptores o usuarios del mismo. Además de identificar las oportunidades, se pretende vislumbrar el origen de los problemas y las posibles soluciones.

Es importante señalar, que se trata de una técnica exploratoria y no confirmatoria, es decir, que tiene como objetivo descubrir, mientras que en las técnicas confirmatorias tienen por objetivo decidir (Page y cols., 2001). Los estudios exploratorios se realizan para ampliar la visión y poner de manifiesto todo el espectro de atributos y cualidades asociados a un producto desde el punto de vista de los usuarios.

A menudo se utiliza la expresión “*Panel de usuarios*” para denominar cualquier tipo de entrevista en grupo. En sentido estricto, un panel de usuarios es un tipo particular de entrevista en un grupo que cuenta con una infraestructura particular formada por: una sala de reuniones con capacidad de 8-12 personas, un sistema independiente para proporcionar los miembros del panel y un moderador.

El procedimiento empleado en los paneles de usuarios, fue:

- Búsqueda y selección de los usuarios, especificando el perfil requerido, el número de paneles a realizar (normalmente 3 ó 4) y los aspectos sobre los que se va a discutir en las sesiones.
- Desarrollo de un guión, a partir de los diferentes aspectos, con un índice de preguntas ordenadas que guiarán la discusión hacia los aspectos de interés.
- Duración de las sesiones; entre 1 hora y media y dos horas.
- Elaboración del informe con los resultados.

Entre las diversas características de estos paneles, cabe destacar su capacidad para ofrecer nuevas visiones y perspectivas de los productos, sin embargo, y al igual que ocurre en otras técnicas exploratorias, al obtener información a partir de muestras muy pequeñas y con escasa componente aleatoria, las conclusiones que pueden extraerse de ellas están muy limitadas y requieren de un estudio horizontal posterior para confirmar las principales conclusiones.

- **Delimitación de los “QUÉS” y los “CÓMOS”. Análisis de los resultados obtenidos.**

Finalizados los paneles de usuarios y expertos, el siguiente paso a desarrollar fue la elaboración de un listado donde se agruparan, por grupos o familias, los problemas y demandas que los gimnastas habían propuesto (denominados por esta metodología “QUÉS”). Posteriormente a la elaboración de los “QUÉS”, se identificaron los criterios técnicos

(denominados “CÓMOS”), es decir que actuaciones se deben realizar para conseguir la calidad demandada por los gimnastas en las colchonetas, teniendo en cuenta que estas actuaciones fueran;

- Independientes del diseño.
- Fácilmente medibles.
- Medibles numéricamente y con unidades lo más estándar posible.
- Mejorables a través del diseño.
- Fácilmente agrupables en familias.

Identificadas las necesidades de los gimnastas y entrenadores en las colchonetas, y establecidas cuales serían las posibles actuaciones para solucionar los problemas planteados, fue necesario realizar un análisis de cómo cada solución propuesta para un problema podría afectar negativa ó positivamente a otros, es decir se realizó un análisis de la contribución de cada “CÓMO” a cada uno de los “QUÉS”.

Los resultados de la interacción son presentados de manera gráfica y en forma de matriz en la “*Casa de la calidad*”, la cual se encuentra estructurada en tres zonas;

1.- Zona central de la matriz.

La zona central de la matriz (relaciones QUES/COMOS), permite traducir la importancia de los “QUÉS” y de los “CÓMOS” obtenidos a través de una mecánica de cálculo que consiste en sumar, por columnas, el valor de cada celda ponderado por el peso relativo de la fila correspondiente. Dicho análisis se realiza asignando un valor entre 1, 3 ó 9 para cada cruce entre QUE-COMO en función de la importancia de la relación entre ambos (criterio de experto).

2.- Tejado de la matriz.

El tejado muestra los conflictos (signo -) ó sinergias (signo +) entre los “CÓMOS”. Un conflicto indica que dos soluciones son contrapuestas y será preciso buscar una solución de compromiso o, si es posible, una solución diferente. De este modo, se detectan los conflictos existentes entre los objetivos del diseño y se consigue evitar que futuras actuaciones en el desarrollo de una nueva colchoneta vayan a interferir de manera negativa sobre aspectos que se han conseguido o se pretendan alcanzar.

La manera de expresar si el grado de sinergia o conflicto de cada uno de los “CÓMOS” para cada uno de los “QUÉS” posee una mayor o menor relación, se establece mediante una escala de valores por orden de importancia (relación fuerte, moderada o débil). Esta valoración

se basa, fundamentalmente, en la posibilidad que existe de solucionar el problema planteado mediante una solución práctica o real.

3.- Pie de la matriz.

Contiene la evaluación del diseño actual de la colchoneta y de la competencia según la escala de medida definida para cada uno de los “CÓMOS”.

En resumen, la casa de la calidad permite ver, de manera gráfica, cuales son las sinergias (positivas y negativas) entre los diferentes aspectos a conseguir en la colchoneta, la relación entre los “QUÉS” y los “CÓMOS”, y la importancia de cada uno de los “CÓMOS” (ver tabla.- 22 en resultados). En cuanto a la zona superior de la matriz, un signo (+) o (-) indica si la aplicación de uno de los “CÓMOS” influye positivamente o negativamente en la aplicación de otro “CÓMO”.

2.1.3.- Diseño de experiencias: Estudios de opinión – Identificación de especificaciones.

- **Paneles de usuarios y expertos.**

En los tres paneles de usuarios y expertos realizados participaron diversos gimnastas de reconocido prestigio tanto de nivel nacional como internacional, así como diversos técnicos y entrenadores del ámbito de la gimnasia deportiva (tabla 7 y anexo 1). Dichas reuniones fueron grabadas en audio.

PANELES DE USUARIOS Y EXPERTOS			
Lugar	C.A.R Madrid	C.A.R Barcelona	I.B.V Valencia
Gimnastas nacionales	0	2	4
Gimnastas internacionales	3	2	0
Técnicos	3	4	2

Tabla 7.- Muestra de los paneles de usuarios y expertos realizados.

A) Centro de Alto rendimiento de Madrid (foto 2):

- Responsable de la unidad de biomecánica del C.A.R.I.C.D – C.S.D).
- Doctora de la unidad de rehabilitación del C.A.R.
- Entrenador de la selección nacional de gimnasia.
- 3 gimnastas de nivel internacional.



Foto 2.- Panel de usuarios y expertos en el CAR de Madrid.

B) Centro de Alto rendimiento de Sant Cugat (Barcelona)(foto.- 3):

- Entrenador nacional de gimnasia.
- Jefe del departamento de biomecánica.
- Médico responsable del equipo de Gimnasia.
- Jefe de la unidad de deportes y apoyo.
- 2 gimnastas internacionales y 2 nacionales.



Foto 3.- CAR Sant Cugat.

C) Instituto de Biomecánica de Valencia.

- 2 Entrenadores nacionales de gimnasia.
- 4 gimnastas nacionales.

2.1.4.- Técnicas de tratamiento de datos.

Tras identificar los aspectos más valorados por los gimnastas y técnicos deportivos, y ser presentados a los diferentes técnicos (expertos en medicina, ingeniería, educación física, etc...) se aportaron soluciones técnicas y de diseño a los problemas planteados. Las opiniones de cada uno de estos paneles fueron organizadas en diversos grupos o familias formadas por diferentes tipos de especificaciones (tanto para los “QUES” como para los “COMOS”), y se presentaron de manera gráfica en la “Casa de la calidad”.

Finalmente, el resultado de la valoración fue expresado en términos de porcentaje y por orden de importancia a través de una mecánica de cálculo, que consiste en sumar, por columnas, el valor de cada celda ponderado por el peso relativo de la fila correspondiente. Así se conoce en términos de porcentaje, cuales son los aspectos más importantes a considerar en una colchoneta y su posible solución.

2.2.- ESTUDIOS MECÁNICOS.

2.2.1.- Aspectos analizados.

Obtenidas en los estudios de opinión cuales eran las especificaciones que debían de reunir las colchonetas de gimnasia, el siguiente paso consistió en analizar el comportamiento mecánico de una muestra de colchonetas, fabricadas atendiendo a las especificaciones obtenidas en los estudios anteriores.

Según se ha mostrado en el estado del arte (ver apartado 1.2.3.2.- Criterios normativos en colchonetas de gimnasia deportiva), existen actualmente 2 normativas en materia de colchonetas: FIG (2000) y EN 12503 (2001). No obstante, la EN es más actual y posee unos criterios más completos, con ensayos definidos y protocolizados para la evaluación de las colchonetas. Por ello se optó por la elección de esta normativa para el análisis de las colchonetas en base a los ensayos mecánicos propuestos. En función de los criterios establecidos por la EN, los ensayos normativos a realizar tendrán características diferentes según el tipo de colchoneta.

Dado que las especificaciones más importantes obtenidas en los estudios de opinión, se relacionaban con los materiales de las colchonetas y sus propiedades para reducir los impactos, los objetivos planteados en los estudios mecánicos fueron:

- 1.- Realizar ensayos mecánicos, según norma EN 12503, que permitan evaluar la absorción de impactos (deceleración, deformación y devolución de energía) en una nueva gama de colchonetas.
- 2.- Clasificar, según norma EN 12503-1, las diferentes colchonetas en base a los resultados obtenidos.
- 3.- Seleccionar una muestra de colchonetas con diferentes resultados en los ensayos para el estudio biomecánico de la recepción.

2.2.2.- Instrumentos de medida utilizados.

Los ensayos mecánicos propuestos en la norma EN 12503 para la determinación de la deceleración, la deformación y la devolución de energía en una colchoneta consistían en analizar la deceleración sufrida por un acelerómetro dentro de un impactador dejado caer desde una altura determinada.

- **Instrumentos de medida empleados y características.**

1.- Estructura de guiado del impactador (foto 4): Estructura metálica capaz de albergar en su parte inferior una colchoneta de dimensiones superiores a 0.2 m x 1 m x 1 m, y compuesta por:

- Un tubo anexo de PVC de 0.90 m que permita guiar la caída del impactador.
- Una polea.
- Una cuerda unida en su extremo al impactador y en el otro a un sistema manual que permita elevar el impactador.

La necesidad de esta estructura se debe a una especificación normativa en base a que la caída del impactador sobre la colchoneta debía ser rectilínea. Por lo tanto, esta estructura permitía guiar la caída del impactador sin alterar su trayectoria o velocidad de caída.



Foto 4.- Guiado del impactador y PC de adquisición.

2.- Impactador EN 12503 (figura 7) cuyas características son:

- Masa; 20 ± 0.1 kg.
- Diámetro; 150 ± 0.5 mm.
- Altura; 800 ± 0.1 mm.

3.- Acelerómetro uniaxial (según norma ISO 6487) montado de forma rígida en la cabeza del impactador.

4.- Sistema de adquisición (figura 19):

- Ordenador personal (PC) con programa de adquisición ADQUI/IBV (desarrollado en el IBV).
- Tarjeta de adquisición de datos NIDAQK-700 y caja de conexiones.
- Cables de conexión.

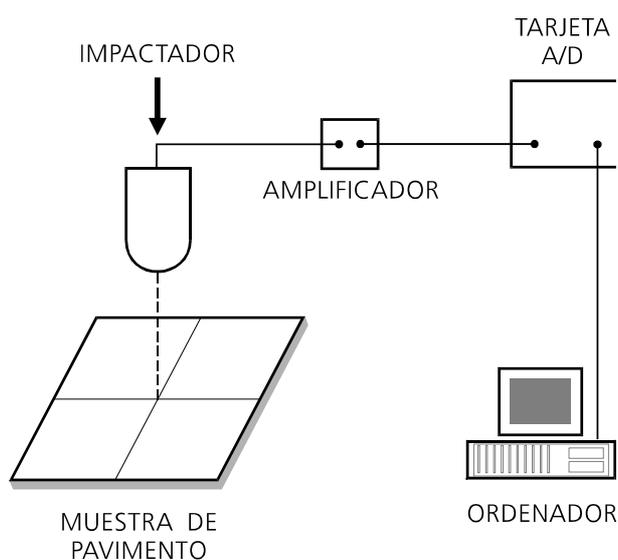


Figura 19.- Esquema del instrumental necesario para el ensayo de absorción de impactos. EN 12503.

2.2.3.- Diseño de experiencias: Ensayos mecánicos.

Según la normativa EN 12503, los ensayos mecánicos propuestos para evaluar las propiedades de absorción de impacto en una muestra de colchonetas consisten en dejar caer un impactador de 20 Kg (con un acelerómetro en su interior) desde una altura de 0.8 m. Se realizan un total de 5 impactos en cada uno de los puntos marcados sobre la colchoneta, de tal manera que entre un impacto y el siguiente no transcurra un tiempo inferior a 1 minuto ni superior a 2 minutos. La normativa establece, además, la necesidad de una trayectoria rectilínea en la caída del impactador, tanto en la salida como en el instante del impacto, así como unas condiciones de temperatura de $21 \pm 3^\circ \text{C}$ durante la realización de los ensayos.

La muestra de colchonetas seleccionada tuvo unas dimensiones de 0.2 m x 1 m x 1 m, y estuvo formada por dos tipos de colchonetas:

- a) Colchonetas con un diseño tradicional: formadas por aglomerado de espuma (Poliuretano).
- b) Colchonetas con un nuevo diseño formadas por (foto 5):



Foto 5.- Composición de las colchonetas de nuevo diseño y funda.

- Una capa superior de espuma pero de diferente densidad y espesor.
- Diversas capas de coquillas (estructuras cilíndricas y alargadas adheridas a una capa de diferentes características en cuanto a densidad y espesor) dispuestas en la colchoneta de manera cruzada (foto 6).



Foto 6.-Coquillas.

- Una o varias capas de espuma de relleno, hasta que la colchoneta alcanzara un espesor de 20cm.

La tabla muestra a las características de las capas que configuraban las nuevas colchonetas (tabla 8):

CAPA SUPERIOR	COQUILLAS	CAPA ENTRE COQUILLAS
<p>Espesor; 15 y 30 mm. Densidad; 30, 60 y 100 Kg/m³. Rigidez: fija</p>	<p>Coquillas separadas a 30 mm. Orientadas a 90°. Diámetro exterior (fijo); 30 mm. Espesor pared; 10 mm. Densidad (fija); 33 Kg/m³. Rigidez (fija).</p>	<p>Espesor; 5-10 mm. Densidad; 30-60 Kg/m³. Rigidez (fija).</p>

Tabla 8.- Características de la capa superior, coquillas y capa entre coquillas.

Dado que se tenía un nuevo diseño en la composición material de la colchoneta, los ensayos mecánicos se modificaron, debido a que la disposición de las coquillas en la colchoneta podría modificar los resultados obtenidos ante la llegada del impactador, pues éstas estaban situadas de tal forma que entre una capa y otra de coquillas se formara un ángulo de 90°, y podría ser que el comportamiento del impactador encima de las coquillas o bien entre ellas fuera diferente.

En este sentido, para analizar el comportamiento en ambas zonas se siguieron las especificaciones normativas descritas anteriormente pero modificándose el número de impactos y la zona, pues se impactó 5 veces sobre 2 zonas distintas (figura 20): una zona estuvo situada encima de las coquillas (A) y la otra en el espacio que había entre ellas (B).

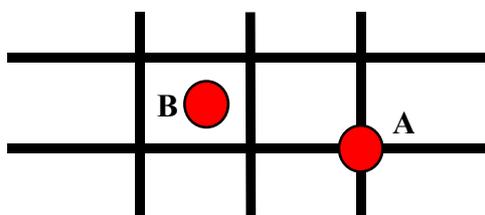


Figura 20.- Zonas de impacto en la colchoneta de nuevo diseño.

La tabla 9 muestra las características y el número de colchonetas analizadas durante los ensayos mecánicos:

COLCHONETA	CAPA SUPERIOR		CAPA ENTRE COQUILLAS	
	Espesor (mm)	Densidad (Kg/m ³)	Espesor (mm)	Densidad (Kg/m ³)
1	15	100	10	60
2	15	60	5	60
3	15	30	5	30
4	30	60	10	60
5	30	30	10	30
6	30	60	5	30
7	30	30	5	60
8	30	30	10	60
9	30	100	10	30
10	15	100	5	60
11	30	100	5	30
12	15	100	10	30
13	15	30	10	60
14	30	100	5	60
15	15	60	10	30
16	15	30	5	30
17	15	30	5	30
18	Colchonetas con diseño tradicional, formadas por aglomerado de espuma (polietileno).			
19				
20				
21				
22	15	30	5	30
23	15	30	5	30

Tabla 9.- Muestra de las colchonetas seleccionadas para ensayos mecánicos.

Mediante el software ADQUI/IBV se configuró la adquisición del acelerómetro con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz y una duración de 3 sg. Se generaron 210 ficheros informáticos guardados con formato *.mat correspondientes a las 23 colchonetas analizadas.

Cada fichero recibía un nombre descriptivo que hacía referencia a la composición o modelo de la colchoneta, número de impacto y zona de impacto.

Finalmente, y en base a los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos, se seleccionó una muestra de colchonetas para el estudio biomecánico de la recepción. Tales colchonetas debían ser diferentes, no sólo en cuanto a estructura o composición material, sino también con diferentes resultados en los ensayos mecánicos realizados.

2.2.4.- Técnicas de tratamiento de datos.

Los 210 ficheros obtenidos con el acelerómetro durante la caída del impactador fueron analizados desde la aplicación de Matlab.6[®]. Dado que las unidades de la señal obtenida era en voltios (V), se convirtieron previamente a aceleraciones (g) utilizando la curva de calibración del acelerómetro, permitiendo así, la lectura de las señales adquiridas y la observación gráfica de las curvas de deceleración, deformación, y devolución de energía de la colchoneta. Las velocidades de impacto se obtuvieron mediante la integral de las aceleraciones registradas en los ensayos. De igual manera, la deformación de la colchoneta se obtuvo por medio de integrar dos veces la aceleración.

Los parámetros obtenidos en cada repetición se almacenaron desde Matlab. 6[®] en un nuevo fichero general de extensión *.txt, y analizados posteriormente mediante el paquete estadístico SPSS.10 (Statistical Package for the Social Science).

La información obtenida en la estadística descriptiva realizada permitió conocer cual era la situación actual de las colchonetas respecto a la norma, conocer el comportamiento de las colchonetas durante el impacto, así como seleccionar una muestra de colchonetas para la realización del estudio biomecánico de la recepción. El tratamiento estadístico realizado consistió en:

1.- Analizar la dispersión en los resultados de deceleración, deformación y devolución de energía sobre las dos zonas de impacto, con el fin de estudiar el comportamiento de las colchonetas con diseño de coquillas.

2.- Analizar la dispersión en los resultados de deceleración, deformación y devolución de energía sobre la totalidad de colchonetas de la muestra.

3.- Un análisis de varianza (ANOVA. MLG-Univariante) estableciéndose como factores fijos la colchoneta y la zona de impacto, y como factores dependientes la deceleración, la deformación y la devolución de energía. El modelo factorial utilizado fue completo con suma de cuadrados tipo III. Las diferencias significativas se evaluaron mediante comparaciones múltiples post hoc (Bonferroni) para las medias de colchoneta y zona de impacto. Las medias marginales estimadas por colchoneta y zona de impacto con estadísticos descriptivos emplearon un nivel de significación del $p < 0.05$ (intervalo de confianza del 95%)

2.3.- ESTUDIOS BIOMECÁNICOS

2.3.1.- *Diseño de experiencias.*

Tal y como muestra el estado del arte, cabe destacar el papel desarrollado por las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo así como de las articulaciones intrínsecas del pie en la amortiguación tras recepcionar en la colchoneta. Dado que los impactos, se producen al contactar los pies del gimnasta con la colchoneta y se transmiten a lo largo de los distintos segmentos corporales, las variables de análisis deberían valorar: el efecto amortiguador de los distintos modelos de colchonetas analizados, la contribución de las articulaciones en la amortiguación final del gimnasta y la contribución de la colchoneta al equilibrio final.

2.3.1.1.- *Estudios y variables de análisis durante la recepción.*

El análisis biomecánico de la recepción propuesto en esta Tesis Doctoral comprende diversos estudios, mediante el uso de diferentes técnicas instrumentales, con el objetivo de analizar y comprender de la forma más completa, la biomecánica de la recepción. En este sentido, los diferentes estudios realizados e instrumental fueron:

- Estudios de presurometría - Plantillas instrumentadas.
- Estudios de dinamometría - Plataformas dinamométricas.
- Estudios de acelerometría - Acelerómetros.
- Estudios de electrogoniometría - Electrogoniómetros.
- Estudios de percepción – Encuestas.

Las distintas variables analizadas fueron:

- Variables cinemáticas:
 - Ángulos de flexión/extensión de cadera, rodilla y articulación tibio-tarsiana.
 - Ángulos de prono/supinación en articulación subastragalina.
 - Aceleraciones en tibia y cabeza.
- Variables cinéticas:
 - Fuerzas de reacción del suelo.
 - Presiones plantares en diversas zonas del pie.
- Variables relativas a la percepción de las características de la colchoneta tras la recepción:

- Percepción de: deformación, abrasión, devolución de energía, estabilidad y velocidad de recuperación.

2.3.1.2.- Descriptivos de la muestra de gimnastas.

En los diferentes estudios realizados participaron un total de cinco gimnastas masculinos, que fueron citados de manera individual en los laboratorios del IBV (foto 7).



Foto 7.- Ensayos biomecánicos. Laboratorio IBV.

Las medias de edad, peso y estatura de los gimnastas que participaron en el estudio fueron de: 25.8 ± 7.9 años, $68\text{Kg} \pm 7.91$ y $1.7\text{m} \pm 0.07$ respectivamente, con una media de 10 ± 8.03 años de práctica en la gimnasia deportiva.

La tabla 10 muestra el nivel deportivo de los gimnastas y sus especialidades en los aparatos de gimnasia:

NIVEL DEPORTIVO DE LOS GIMNASTAS	NÚMERO DE GIMNASTAS	ESPECIALIDAD DE APARATOS
Internacional	2	Todos los aparatos
Autonómico	2	1) Anillas y paralelas. 2) Barra fija, suelo y salto.
Aficionado	1	Salto

Tabla 10.- Nivel deportivo y especialidades de los gimnastas.

2.3.1.3.- Protocolo de salto sobre la colchoneta empleado.

Numerosos estudios (McNitt-Gray., 1991; McNitt-Gray y cols., 1994; Song-Ning y cols. 2000; Brian, y cols. 2001; Jeremy, y cols. 2001; Arampatzis y cols., 2002) que analizaron la recepción en la colchoneta y los efectos derivados sobre el gimnasta, emplean como salto para

el análisis el “Drop Jump”. Por ellos se empleo este tipo de salto desde una altura de 80 cm. Con el fin de centrar la recepción en la acción de la extremidad inferior y evitar que las características técnicas individuales de cada gimnasta pudieran influir en la recepción sobre la colchoneta, se establecieron una serie de restricciones en el salto, tales como:

- Las manos deben de colocarse desde el inicio hasta el final de la recepción en la cadera, evitando quedar libres durante el salto.
- El inicio de la recepción se produce dejándose caer ligeramente hacia delante desde la plataforma elevada, (foto 8) evitando así, que los sujetos salten desde alturas diferentes producidas por un impulso al inicio del salto.



Foto 8.- “Drop jump” modificado para el estudio con instrumental.

Tras la instrumentación, el gimnasta realizaba un pequeño calentamiento general, seguido de un calentamiento más específico donde el gimnasta ejecutaba el gesto propuesto. Se realizaron 5 saltos válidos por colchoneta, sobre un total de 6 colchonetas:

- Numeración de las colchonetas en los ensayos mecánicos (Nº) y nueva numeración para los ensayos biomecánicos (nº) respectivamente: Nº 3 – nº 1, Nº 6 – nº 2, Nº 8 – nº 3, Nº 18 – nº 4, Nº 19 – nº 5, Nº 21 – nº 6.

Para evitar posibles efectos de fatiga, se dejaron 30 segundos entre los saltos de un mismo modelo de colchoneta y 3 minutos entre distintas colchonetas.

La instrumentación del gimnasta (foto 9) tuvo una duración aproximada de 30-35 minutos, donde se colocaba:

- 1.- Una plantilla instrumentada insertada en un calzado de suela flexible, un amplificador y un emisor de datos.

2.- Tres electrogoniómetros, con mochila amplificadora, fuente de alimentación, unidad paciente de amplificación y emisor de datos.

3.- Dos acelerómetros conectados a la mochila amplificadora de los electrogoniómetros.



Foto 9.- Instrumentación del gimnasta.

Para la adquisición de los datos se utilizaron tres ordenadores, dos de ellos sincronizados mediante una señal digital (pulsador) y con una tarjeta de adquisición de datos modelo NIDAQ-700 (National Instruments) (foto 10).



Foto 10.- Mesa de adquisición de datos.

El gimnasta atendía a las ordenes: preparados, 1-2-3, “Ya”, momento en el que se accionada el pulsador de sincronismo de disparo de los diferentes equipos de medida utilizados. Tras realizar las 5 recepciones válidas sobre cada modelo de colchoneta, el

gimnasta rellenaba una encuesta como la presentada en el anexo 2, de tal manera que se obtuvieron en total 30 encuestas, es decir, 1 por cada modelo de colchoneta y gimnasta.

A continuación se describe la metodología empleada en la instrumentación, las variables analizadas y los parámetros obtenidos en cada uno de los estudios planteados de: presurometría, dinamometría, acelerometría, electrogoniometría y estudios sobre la percepción de las propiedades de la colchoneta.

2.3.2.- Estudios de presuometría.

2.3.2.1.- Aspectos analizados.

El apoyo del pie juega un papel primordial en la estabilidad del gimnasta durante la recepción. La distribución de las presiones a lo largo de la planta del pie y la progresión del punto de aplicación de la carga permiten determinar, en gran parte, la estabilidad del apoyo.

En función de las características y las propiedades que tenga una colchoneta, la participación de las diferentes zonas del pie, así como las presiones plantares alcanzadas, van a ser diferentes. Por esta razón, los aspectos analizados en este estudio mediante técnicas de presuometría tuvieron dos objetivos:

- 1.- Analizar y describir el patrón de salto (durante la recepción), en distintos tipos de colchonetas.
- 2.- Analizar los valores máximos de presión en las distintas zonas del pie.

2.3.2.2.- Instrumentos de medida utilizados.

El sistema de plantillas instrumentadas *Biofoot/IBV 2001* (figura 21) permite el análisis de presiones plantares mediante una aplicación informática.

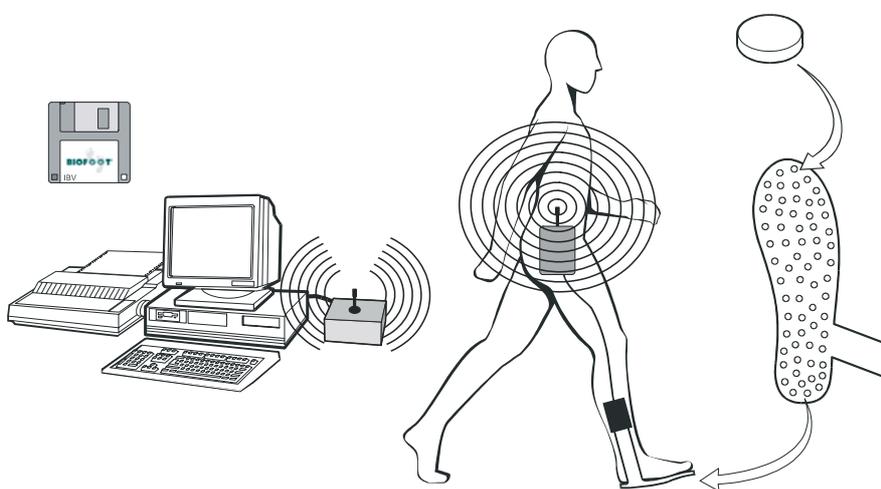


Figura 21.- Esquema del instrumental necesario para analizar las presiones plantares mediante una plantilla instrumentada *Biofoot/IBV* (Vera y Hoyos, 1993).

Las plantillas instrumentadas permiten el registro y análisis dinámico de la distribución de las presiones durante el apoyo del pie, facilita la determinación de los mapas de presiones a lo largo del tiempo de apoyo, el cálculo de la componente vertical de la fuerza resultante y estudia la evolución del baricentro (Brizuela y Llana., 1997).

Las plantillas se insertan en el interior del calzado, lo que supone en el caso de los gimnastas utilizar un calzado especial, flexible y de ligero peso (similar a un calcetín) (foto 11), sin influir en las variables de presión a analizar ni en el salto realizado.



Foto 11.- Zapatilla empleada en los ensayos de presuometría.

- **Características y especificaciones técnicas del equipo Biofoot/IBV 2001.**

Para la realización de los ensayos de presuometría, el equipo necesario estuvo formado por los siguientes componentes y características (foto 12):



Foto 12.- Componentes del Biofoot IBV/ 2001.

- Pares de plantillas (a seleccionar de entre los números necesarios).
- Dos módulos amplificadores.
- Un transmisor por telemetría, que envía los datos al ordenador sin necesidad de conexión mediante cable alguno.
- Una tarjeta receptora instalada en el PC.
- La aplicación informática que, instalada en el ordenador, permite el registro y tratamiento de los datos.

2.3.2.3.- Diseño de experiencias.

En cuanto a las características propias de los ensayos de presuometría, inicialmente fue necesario distribuir las cerámicas que configuran la plantilla en varias zonas. En este sentido, y dado que se intentaba analizar el mayor número de zonas que explicaran el comportamiento de las presiones plantares, la distribución de las zonas quedó configurada según muestra la figura 22.

1. TE (talón externo).
2. TC (talón central).
3. TC2 (talón central 2).
4. TI (talón interno).
5. PME (planta medio externa).
6. PMC (planta media central).
7. PMI (planta medio interna).
8. C5M (cabeza 5º metatarsiano).
9. MM (metatarsianos medios).
10. C1M (cabeza 1º metatarsiano).
11. RD (resto dedos).
12. PrDD (primer dedo).

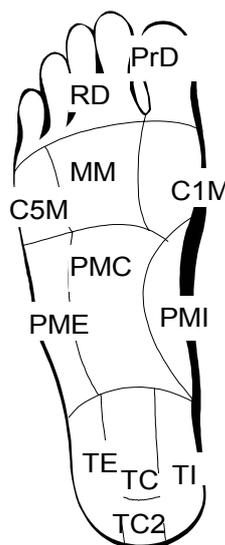


Figura 22.- Zonas del pie para los estudios de presuometría.

El estudio se realizó sobre el pie derecho (foto 13) fundamentalmente por dos motivos:

a) El analizar los dos pies hubiera supuesto una interferencia con el instrumental empleado para los estudios de acelerometría (ya que el acelerómetro colocado en la tibia izquierda interferiría con el amplificador).

b) El utilizar dos plantillas para el análisis bipodal reduce la posibilidad de utilizar altas frecuencias de muestreo, en cambio, el análisis monopodal permite aumentar dicha frecuencia. En este sentido, se utilizó una frecuencia de 750 Hz con un tiempo de medición total de 5 segundos.



Foto 13.- Instrumentación del gimnasta con Biofoot/IBV 2001.

Se obtuvieron 150 ficheros informáticos con formato *.bft correspondientes a los 5 saltos realizados sobre las 6 colchonetas por los 5 gimnastas. Cada fichero recibía un nombre descriptivo que hacía referencia al sujeto, modelo de colchoneta y número de repetición.

Con el objetivo de analizar qué zonas del pie soportan una mayor presión durante de la recepción, se tomó como variable representativa de las presiones (Kpa) máximas del pie MZ (media de los valores máximos por zona), con un valor más robusto, ya que no basa la presión máxima de una zona en una única cerámica, sino en la media de las cerámicas de la misma zona.

2.3.2.4.- Técnicas de tratamiento de datos.

Realizados los ensayos con gimnastas, se procedió a la extracción de los parámetros de cada uno de los 150 ficheros de datos (*.bft) generados por las plantillas. La extracción de cada parámetro se realizó desde el propio programa *Biofoot/IBV 2001* y, su análisis posterior, mediante el paquete estadístico SPSS.10 (Statistical Package for the Social Science).

El tratamiento estadístico realizado consistió en:

1. Un análisis exploratorio del los parámetros obtenidos mediante el empleo de diagramas de caja simple (resumidos por grupos de caso), siendo la variable MZ y en el eje de categorías las colchonetas analizadas.

2. Un análisis de varianza (ANOVA, MLG-Univariante) estableciéndose como factores fijos la colchoneta y sujeto, y como factores dependientes las presiones en las distintas zonas del pie. El modelo factorial utilizado fue completo con suma de cuadrados tipo III. Las diferencias significativas se evaluaron mediante comparaciones múltiples post hoc (Bonferroni) para las medias de sujeto y colchoneta. Las medias marginales estimadas por sujeto y

colchoneta con estadísticos descriptivos emplearon un nivel de significación del $p < 0.05$ (intervalo de confianza del 95%).

3. Un análisis factorial de componentes principales permitió identificar las relaciones existentes entre las presiones de las 12 zonas del pie (Figura.- 22), así como identificar para posteriores estudios, un número menor de zonas que expliquen la mayor parte de la varianza observada. Los criterios seguidos en este análisis factorial fueron tres:

- a) Las comunalidades obtenidas mediante el método de extracción deben presentar una extracción para cada zona del pie ≥ 0.7 .
- b) Los resultados del porcentaje acumulado de la varianza deben ser lo más elevados posibles ($\geq 80\%$).
- c) La reducción de las 12 zonas del pie mediante el método de rotación Varimax y su agrupación en un número menor de componentes deben ser interpretables.

2.3.3.- Estudios de Dinamometría y Acelerometría.

2.3.3.1 Aspectos analizados.

Una acción como la recepción tras un salto o salida de un aparato en gimnasia deportiva genera, al contactar el pie con la colchoneta, una serie de fuerzas que se transmiten a través del sistema músculo-esquelético hacia la cabeza. La medición simultánea de las fuerzas de reacción del suelo, en algunos casos superiores a 10-12 veces el peso corporal, y las aceleraciones soportadas por los segmentos corporales, en algunos casos cercanas a 20 G (*ver estado del arte*), permiten medir las fuerzas de impacto generadas así como su transmisión, además del estudio de la amortiguación de dichos impactos a partir de los coeficientes obtenidos.

En este sentido, los objetivos del estudio utilizando técnicas de acelerometría y dinamometría fueron;

- 1.- Analizar y describir las fuerzas de reacción así como las aceleraciones en tibia y cabeza, producidas por los gimnastas en los distintos tipos de colchonetas.

- 2.- Analizar la transmisión de las cargas de impacto a través de los distintos segmentos corporales por medio del cálculo de los coeficientes de transmisión de fuerzas del suelo a la tibia y a la cabeza, así como el coeficiente de transmisión de las aceleraciones de la tibia a la cabeza.

2.3.3.2.- Instrumentos de medida utilizados.

A) Técnicas de dinamometría.

Dinascan/IBV es una plataforma dinamométrica diseñada para medir, registrar y analizar las cargas de acción-reacción tales como: fuerzas sobre el suelo al caminar, correr y saltar o durante cualquier otra actividad humana dinámica o de equilibrio. Las plataformas *Dinascan/IBV* (*figura 23*) están instrumentadas mediante cuatro captadores extensométricos, cuyo buen comportamiento a frecuencias bajas y alta linealidad los hace particularmente indicados para el estudio de movimientos humanos.

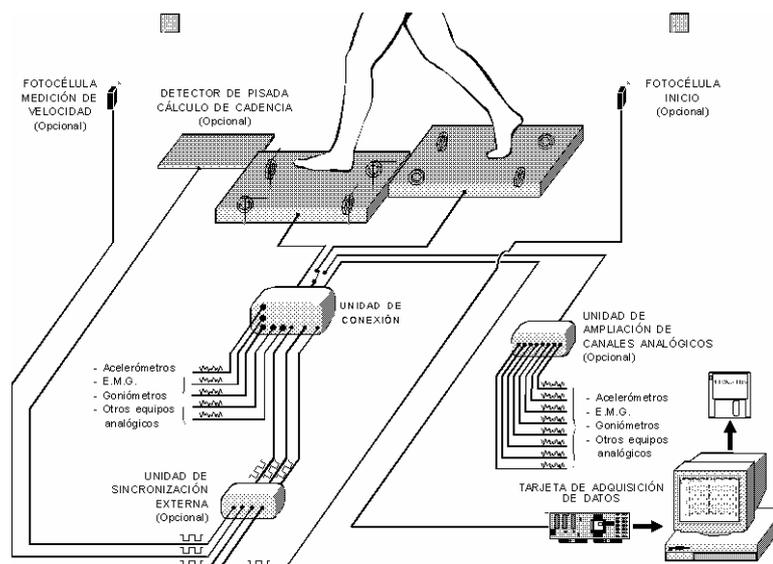


Figura 23.- Esquema de funcionamiento plataforma dinamométrica Dinascan/IBV.

Dos de los cuatro captadores de la plataforma son sensibles a fuerzas longitudinales, además de las verticales, y los otros dos absorben cargas transversales además de las verticales. De este modo es posible medir fuerzas en las tres direcciones del espacio. Cada plataforma incorpora un módulo interno de amplificación que proporciona señales analógicas de alto nivel, haciéndola más inmune a las perturbaciones electromagnéticas.

- **Las características y especificaciones técnicas del Dinascan/IBV son:**
- Tamaño de 800x800 mm de área activa y 100 mm de altura (foto 14).
- Peso de 65 kg.
- Rango de medida configurable por programa en cuatro rangos desde 2000 N hasta 15000 N en fuerzas verticales y desde ± 1000 N hasta ± 7500 N en fuerzas horizontales.
- Error máximo para las fuerzas: 2%.
- Frecuencia natural de vibración mayor de 400 Hz en dirección vertical.
- Frecuencia de muestreo configurable hasta 1000 Hz.



Foto 14.- Plataforma dinamométrica.

- Software para la adquisición de los registros dinamométricos: programa DINASCAN/IBV v8.1.
- Software para el tratamiento de las señales dinamométricas: La obtención de los parámetros buscados se realizó en una aplicación de MATLAB .6[®] que permitió estudiar las variables de fuerza de reacción seleccionadas y almacenar los parámetros analizados de sus curvas.

B) Técnicas de acelerometría.

Los acelerómetros son instrumentos que permiten medir las aceleraciones sufridas por los distintos segmentos corporales de manera directa (foto 15). Su funcionamiento, basado en la segunda ley de Newton, se basa en la fuerza de inercia generada por una masa ubicada sobre un captador de fuerzas, el cual traduce la fuerza medida en una señal eléctrica. En general, los acelerómetros suministran información relativa a una dirección del espacio, aunque existen modelos más complejos capaces de generar información tridimensional.



Foto 15.- Acelerómetro en tibia.

Los acelerómetros son utilizados para valorar la transmisión de los impactos a través del sistema músculo-esquelético, siendo recomendables para medir dichas aceleraciones en los segmentos óseos (Light y cols., 1980; Voloshing y cols., 1981; Valiant y cols., 1987; Smeathers, 1989; Nigg y cols., 1994; Brizuela, 1996).

En los ensayos con gimnastas se intentó que la instrumentación del mismo fuera lo menos influyente posible, intentando que el gimnasta llevara la menor carga de equipo mediante el uso de alargadores.

- **Características y especificaciones técnicas del equipo de Acelerometría/IBV.**

El sistema telemétrico de Acelerometría/IBV (figura 17) está basado en acelerómetros piezorresistivos conectados a una pequeña mochila dividida en tres compartimentos en los que

se aloja la electrónica del sistema emisor. La información es recibida por el PC gracias a una tarjeta de adquisición de señales que digitaliza la señal analógica recibida para poder ser leída y almacenada en su memoria.

Las características del equipo de acelerometría utilizado son:

- Acelerómetros piezorresistivos:
 - Marca y modelo: ICSENSORS, 3031.
 - Rango de medida: 20 g.
 - Frecuencia de resonancia: 1200 Hz.
 - Sensibilidad: 2.1 mV/g.
 - Peso: 0.3 gr.
 - Soporte fijador de aluminio de 2.5 gr de peso.

- Equipo de telemetría (foto 16):
 - Marca y modelo: Johne & Reilhofer, Miniatura-PCM-System.
 - Número de canales: 8 (según normativa DIN 66224).
 - Mochila portadora con tres pequeños compartimentos de 1.6 Kg de peso.



Foto 16.- Equipo de Telemetría.

- Tarjeta de adquisición de datos:
 - Marca y Modelo: DAQ 700 - Nacional Instruments.
 - Número de canales: 8 de tipo DIFF.
 - 16 canales "single ended".

- Software para la adquisición de los registros de acelerometría: programa DINASCAN/IBV v8.1.
- Software para el tratamiento de los registros de acelerometría: la obtención de los parámetros buscados se realizó en una aplicación de Matlab 6[®] que permitió estudiar las variables de aceleración en tibia y cabeza en función del tiempo y el almacenamiento de los parámetros seleccionados.

2.3.3.3.- Diseño de experiencias.

Las características y configuración empleada en los equipos de dinamometría y acelerometría fueron:

Se instrumentó al gimnasta con dos acelerómetros: uno de ellos en la tibia y el otro en la cabeza, y fijados mediante un vendaje y velcro (foto 17). Se le equipó con una mochila (foto 18) que albergaba los equipos electrónicos de alimentación y de emisión de la señal tanto para acelerometría como para electrogoniometría.



Foto 17.- Instrumentación de los acelerómetros en los gimnastas.



Foto 18.- Instrumentación mochila y cableado.

Las seis colchonetas empleadas en el estudio fueron adheridas en orden aleatorio a la superficie superior de la plataforma dinamométrica (foto 19). La frecuencia de muestreo, tanto de la plataforma dinamométrica como de los acelerómetros fue de 500 Hz, con una duración en la medición de 5 s. El inicio de la medición se realizaba mediante una señal digital configurada en el programa, la cual fue un pulsador conectado a la caja de canales de la tarjeta de adquisición.



Foto 19.- Colchoneta sobre plataforma dinamométrica.

Se generaron 150 ficheros informáticos de dinamometría y acelerometría con formato *.din correspondientes a los 5 saltos realizados sobre las 6 colchonetas por los 5 gimnastas. Cada fichero recibía un nombre descriptivo que hacía referencia al sujeto, modelo de colchoneta y número de repetición.

2.3.3.4.- Técnicas de tratamiento de datos.

Los 150 ficheros obtenidos tanto en los estudios de dinamometría como de acelerometría tuvieron para la obtención de los resultados un tratamiento de datos similar. Estos ficheros fueron exportados mediante el programa a varios documentos de texto, siendo tratados desde la aplicación MATLAB .6[®], que permitió:

- En cuanto a las variables de dinamometría: analizar la curva de la señal en función del tiempo, obteniendo los máximos en las fuerzas de reacción del suelo.
- En cuanto a las variables de acelerometría: analizar la curva de la señal en función del tiempo, obteniendo los máximos en las aceleraciones de tibia y cabeza.

Finalmente, los valores de cada repetición se almacenaron en una hoja de cálculo de Microsoft® Excel 2002 4.0 para su análisis estadístico posterior, con el paquete SPSS.10 (Statistical Package for the Social Science). El análisis estadístico consistió en:

1. Un análisis exploratorio de los parámetros obtenidos mediante el empleo de diagramas de caja simple (resumidos por grupos de caso), siendo las variables los tiempos y registros buscados en la acelerometría y dinamometría, y en el eje de categorías las colchonetas analizadas.

2. Análisis de varianza (ANOVA, MLG-Univariante) estableciéndose como factores fijos la colchoneta y el sujeto, y como factores dependientes las distintas variables de acelerometría y dinamometría. El modelo factorial utilizado fue completo con suma de cuadrados tipo III. Las diferencias significativas se evaluaron mediante comparaciones múltiples post hoc (Bonferroni) para las medias de sujeto y colchoneta. Las medias marginales estimadas por sujeto y colchoneta con estadísticos descriptivos emplearon un nivel de significación del $p < 0.05$ (intervalo de confianza del 95%).

3. Análisis factorial de componentes principales que permitió primero identificar y segundo reducir a un número menor de factores que explique la mayoría de la varianza observada. Las variables empleadas para el análisis de reducción de datos mediante el método de rotación Varimax fueron las obtenidas en el estudio de acelerometría (con excepción del primer máximo de tibia y su tiempo) y dinamometría. Los criterios seguidos en este análisis factorial fueron tres:

- a) Las comunalidades obtenidas mediante el método de extracción deben presentar una extracción para cada factor ≥ 0.7 .
- b) Los resultados del porcentaje acumulado de la varianza deben ser lo más elevados posibles ($\geq 80\%$).
- c) La reducción de los factores mediante el método de rotación varimax y su agrupación en un número menor de componentes deben ser interpretables.

2.3.4.- Estudios de Electrogoniometría.

2.3.4.1.- Aspectos analizados.

En los estudios de electrogoniometría se analizan los rangos de movimiento de las articulaciones de cadera, rodilla y tobilla mediante el empleo de electrogoniómetros, dado que un análisis cinemático mediante técnicas de fotogrametría no era posible por las condiciones del ensayo, así como por la interferencia de la instrumentación del gimnasta con los posibles marcadores. Los objetivos propuestos en estos estudios fueron:

- 1.- Describir y analizar la participación de las principales articulaciones de la extremidad inferior que intervienen durante la recepción, describiendo el patrón y rango de movimiento.
- 2.- Analizar los valores máximos y mínimos en los tiempos y rangos de movimiento de flexo/extensión en cadera, rodilla y tobillo, además de la prono/supinación de la articulación subastragalina.

2.3.4.2.- Instrumentos de medida utilizados.

Los electrogoniómetros son transductores de ángulos (generalmente potenciómetros lineales), es decir instrumentos que transforman el ángulo medido en una señal eléctrica (figura 24).

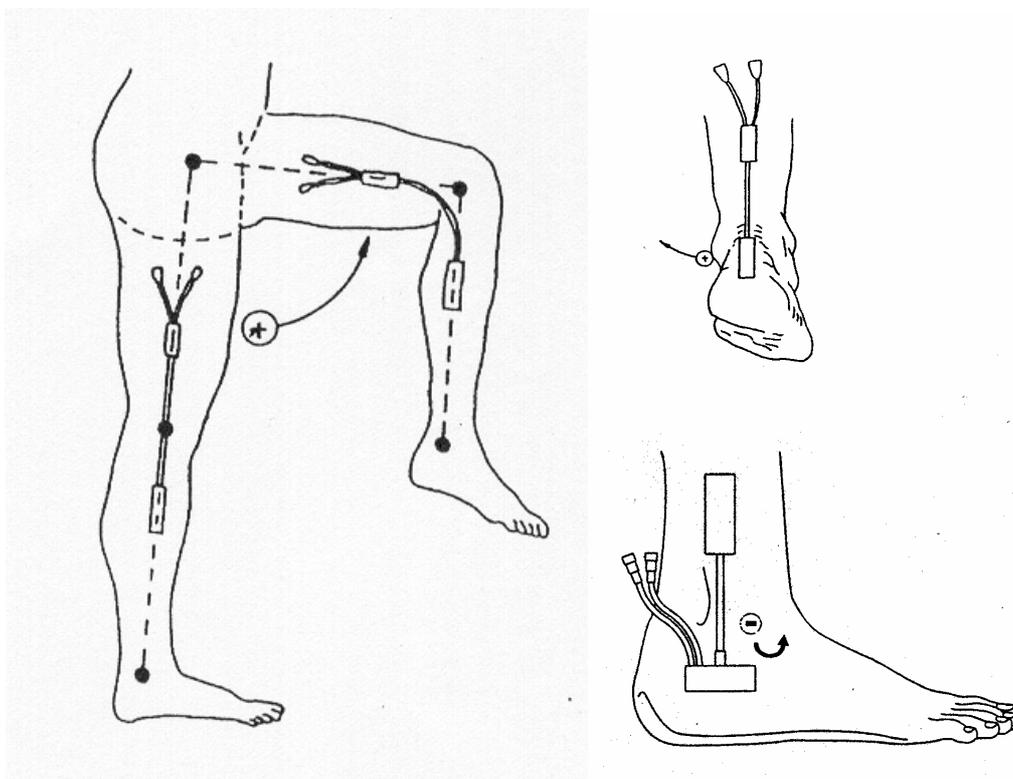


Figura 24.- Ubicación de los electrogoniómetros en el estudio realizado (extraído de Manual Biometrics Ltd).

- Componentes del equipo de electrogoniometría.

El equipo de electrogoniometría consta de la siguiente cadena de medida:

- Tres electrogoniómetros.
- Amplificador unidad paciente de Penny and Giles.
- Equipo de telemetría Johne & Reilhofer.
- Sistema de adquisición, formado por el software y tarjeta de adquisición NIDAQK-700.

- Características técnicas del equipo.

- Electrogoniómetros modelo M180 de Penny and Giles.
- Rango de medida de 0 a 10 Voltios (-100° a +100°).
- Amplificador – Unidad paciente de Penny and Giles.
- Equipo de telemetría y amplificador Jhone&Reilhoffer:
 - Marca y modelo: Johne & Reilhofer, Miniatura-PCM-System.
 - Número de canales: 8 (según normativa DIN 66224).
 - Mochila portadora con tres pequeños compartimentos de 1.6 Kg de peso.
- Sistema de alimentación.

2.3.4.3.- Diseño de experiencias.

La instrumentación y características de los 3 electrogoniómetros empleados, fueron (foto 20):

- 1.- Uniaxial (flexo/extensión), localizado en la cadera.
- 2.- Uniaxial (flexo/extensión), localizado en la rodilla.
- 3.- Biaxial (flexo/extensión y prono/supinación), localizado en el tobillo-calcaneo.



Foto 20.- Instrumentación de los electrogoniómetros.

Tras la colocación de los electrogoniómetros, éstos se conectaron a la mochila de alimentación del equipo y emisora de la señal eléctrica al equipo receptor (foto 21).



Foto 21.- Mochila para la instrumentación de los electrogoniómetros y equipo receptor.

Se configuró la adquisición de los electrogoniómetros con una frecuencia de muestreo de 750 Hz y una duración de 5 segundos en la medición, con un número de 4 canales analógicos: 3 para la flexo/extensión de cadera, rodilla y tobillo, y 1 para la prono/supinación de la subastragalina. El inicio de la medición se realizaba mediante una señal digital, que disparaba la adquisición de la plataforma dinamométrica, acelerómetros y electrogoniómetros simultáneamente.

Se generaron 150 ficheros informáticos de electrogoniometría guardados con formato *.mat correspondientes a los 5 saltos realizados sobre las 6 colchonetas por los 5 gimnastas. Cada fichero recibía un nombre descriptivo que hacía referencia al sujeto, modelo de colchoneta y número de repetición.

2.3.4.4.- Técnicas de tratamiento de datos.

Los 150 ficheros obtenidos fueron tratados desde una aplicación realizada en el Matlab[®] .6 que permitió analizar las curvas de los registros en función del tiempo, obteniendo valores máximos y mínimos (y los tiempos en los cuales se producían) de flexo/extensión de cadera, rodilla y tobillo así como de prono/supinación de la subastragalina.

Los registros de cada repetición se almacenaron en una hoja de cálculo de Microsoft[®] Excel 2002 4.0 para el análisis estadístico posterior, realizado con el paquete SPSS.10 (Statistical Package for the Social Science). El tratamiento estadístico realizado consistió en:

1. Un análisis exploratorio de los parámetros obtenidos mediante el empleo de diagramas de caja simple (resumidos por grupos de caso), siendo las variables los tiempos y registros obtenidos con los electrogoniómetros, y en el eje de categorías las colchonetas analizadas.

2. Un análisis de varianza (ANOVA, MLG-Univariante) estableciéndose como factores fijos la colchoneta y sujeto, y como factores dependientes los distintos ángulos y tiempos seleccionados. El modelo factorial utilizado fue completo con suma de cuadrados tipo III. Las diferencias significativas se evaluaron mediante comparaciones múltiples post hoc (Bonferroni) para las medias de sujeto y colchoneta. Las medias marginales estimadas por sujeto y colchoneta con estadísticos descriptivos emplearon un nivel de significación del $p < 0.05$ (intervalo de confianza del 95%).

3. Un análisis factorial de componentes principales permitió primero identificar y segundo reducir a un número menor de factores que explique la mayoría de la varianza observada. Las variables empleadas para el análisis de reducción de datos mediante el método de rotación Varimax fueron las obtenidas en los electrogoniómetros. Los criterios seguidos en este análisis factorial fueron tres:

- a) Las comunalidades obtenidas mediante el método de extracción deben presentar una extracción para cada factor ≥ 0.7 .
- b) Los resultados del porcentaje acumulado de la varianza deben ser lo más elevados posibles ($\geq 80\%$).
- c) La reducción de los factores mediante el método de rotación varimax y su agrupación en un número menor de componentes deben ser interpretables.

2.3.5- Estudios de percepción.

El análisis y evaluación de una colchoneta se podría plantear de dos modos distintos: se podrían analizar las características más importantes en el desarrollo de una nueva colchoneta, o bien, se podrían analizar las propiedades de la colchoneta una vez desarrollada. En ambos casos, la evaluación funcional de la colchoneta debería incluir métodos de estudio subjetivos y objetivos, tal y como se ha realizado en los estudios de opinión y estudios mecánicos de esta Tesis Doctoral. Del mismo modo, al realizar los estudios de percepción dentro del análisis biomecánico, ambos niveles de estudio son complementarios, ya que se analizan las percepciones del gimnasta con las características y propiedades constructivas de la colchoneta.

En este sentido, mediante los estudios de percepción se pretende valorar y jerarquizar la percepción subjetiva que tienen los gimnastas tras la recepción.

2.3.5.1.- Aspectos analizados.

La percepción del gimnasta al recepcionar en un determinado tipo de colchoneta varía en función de las características del gimnasta. En este sentido, los estudios de percepción tuvieron por objetivo:

- 1.- Identificar y conocer tras la recepción, la valoración de los gimnastas en la percepción de: deformación, abrasión, devolución de energía, estabilidad y velocidad de recuperación.
- 2.- Analizar las posibles relaciones entre la percepción de las distintas propiedades de una colchoneta.

2.3.5.2.- Técnicas de medida utilizadas.

Para el análisis de las percepciones y las características de los gimnastas, la técnica de medida empleada fueron encuestas (anexo.- 2), con preguntas de tipo Likert sobre una escala de valoración del 1 al 5 en la percepción.

2.3.5.3.- Diseño de experiencias.

El protocolo a seguir en este estudio fue el siguiente: cada gimnasta realizaba 5 saltos válidos en cada una de las 6 colchonetas, tras los cuales rellenaba una encuesta. En la primera colchoneta la encuesta se rellenaba de forma completa, y en las 5 colchonetas restantes únicamente se rellenaba el apartado relativo a la valoración de la colchoneta.

2.3.5.4.- Técnicas de tratamiento de datos.

Se obtuvieron en total 30 encuestas de percepción cuyos resultados fueron introducidos a la base de datos de la aplicación Microsoft® Excel 2002 4.0 con extensión *.txt, y posteriormente analizados mediante el paquete estadístico SPSS.10 (Statistical Package for the Social Science). El tratamiento estadístico consistió:

1. Un análisis descriptivo de las valoraciones percibidas por los gimnastas en cada una de las variables (deformación, abrasión, devolución de energía, estabilidad y velocidad de recuperación) durante la recepción en la colchoneta.
2. Un análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis, teniendo como variable de agrupación los distintos tipos de colchoneta. El valor de rango promedio obtenido fue considerado para posteriores estudios como medida de la tendencia central (media estadística) de cada variable para cada tipo de colchoneta y sujeto.
3. Análisis de correlaciones de Spearman para pruebas no paramétricas, con el fin de analizar las correlaciones entre cada variable.

ÍNDICE RESULTADOS

3.- RESULTADOS.....	99
3.1.- Estudios de opinión-identificación de especificaciones.....	101
3.1.1.- Resultados obtenidos en los paneles: familias “QUÉS” y familias “CÓMO”.....	101
3.1.2.- Sinergias y conflictos entre “QUÉ” y “CÓMO”: “Casa de la calidad”.....	105
3.2.- Estudios mecánicos.....	108
3.2.1.- Comportamiento homogéneo de las colchonetas de nueva estructura.....	108
3.2.2.- Situación actual de la muestra de colchonetas frente a la norma EN 12503.....	112
3.2.3.- Selección de colchonetas para el estudio biomecánico de la recepción...	117
3.3.- Estudios biomecánicos.	121
3.3.1.- Estudios de presurometría.....	121
3.3.1.1.- Análisis exploratorio.	121
3.3.1.2.- Descripción del patrón de recepción realizado por los gimnastas.	121
3.3.1.3.- Comparación entre las medias por zona (Anova).....	122
3.3.1.4.- Análisis factorial.....	123
3.3.2.- Estudios de dinamometría y acelerometría.....	126
3.3.2.1.- Estudios de acelerometría.....	126
3.3.2.2.- Estudios de dinamometría.....	132
3.3.2.3.- Coeficiente de transmisión de impactos.....	135
3.3.2.4.- Análisis factorial de las componentes principales.....	138
3.3.3.- Estudios de electrogoniometría.....	140
3.3.3.1.- Articulación coxo-femoral (cadera).....	140
3.3.3.2.- Articulación de la rodilla.....	143
3.3.3.3.- Complejo articular tobillo-subastragalina.....	146
3.3.3.4.- Análisis factorial de componentes principales.....	155
3.3.4.- Estudios de percepción.....	158

3.4.- Análisis conjunto de los resultados; estudios mecánicos, biomecánicos y de percepción.....	161
3.4.1.- Resultados de correlación entre variables de un mismo estudio.....	161
3.4.2- Resultados de correlación entre variables mecánicas con percepción, biomecánicas y mecánicas, y biomecánicas con percepción.....	163

3.- RESULTADOS

3.1.- ESTUDIOS DE OPINIÓN-IDENTIFICACIÓN DE ESPECIFICACIONES.

3.1.1.- Resultados obtenidos en los paneles: familias “QUÉS” y familias “CÓMO”.

La información obtenida en los diversos paneles de usuarios y expertos realizados, fue agrupada en dos bloques: un bloque referido a la calidad demandada en las colchonetas de gimnasia (“QUÉ”) y otro referente a los criterios técnicos en la calidad demandada (“CÓMO”). Cada uno de estos bloques está, a su vez, dividido en familias o grupos que intentarán reunir todos aquellos aspectos que hagan referencia a un mismo tema o aspecto. En este sentido, la tabla 11 muestra los grupos de familias obtenidos.

GRUPOS DE FAMILIAS	
FAMILIAS “QUÉ”	FAMILIAS “CÓMO”
Acabado superficial.	Propiedades superficie.
Deformación y Energía.	Propiedades materiales.
Color y Brillo.	Diseño estructural.
Acabados.	Diseño estético.
Uso.	Acabados.

Tabla 11.- Grupos de familias.

- **Resultados respecto a la calidad demandada de la colchoneta: “QUÉ”.**

Aquellos aspectos más importantes a tener en cuenta en una colchoneta (nombrados con la nomenclatura de *especificaciones*) se acompañan con una definición que intenta explicar, de la manera más ajustada posible aquello que los entrevistados querían asociar a la calidad de una colchoneta. En cuanto a “QUÉ” calidad se demanda en una colchoneta, los resultados obtenidos fueron (tablas 12, 13, 14, 15 y 16):

Familia: ACABADO SUPERFICIAL	
Especificación	Definición
El pie con calcetín no debe resbalar.	Al aterrizar con los calcetines que se usan en entrenamientos, especialmente los chicos, hay que evitar deslizamientos y caídas (los calcetines suelen ser de algodón).
El pie desnudo no debe resbalar.	Idem anterior pero con el pie descalzo. Especialmente para chicas.
No tiene que deslizarse respecto al suelo.	La colchoneta no debe moverse cuando el gimnasta cae sobre ella.
Las colchonetas no deben deslizarse entre sí.	La colchoneta no debe moverse cuando el gimnasta cae sobre ella y está colocada encima de otra.
Evitar quemaduras en la piel.	Si el gimnasta cae y desliza sobre la colchoneta, de espaldas o en otra posición, hay que evitar que se produzcan quemaduras en la piel.

Tabla 12.- Acabado superficial.

Familia: DEFORMACIÓN Y ENERGÍA	
Especificación	Definición
Evitar la devolución de energía.	La colchoneta debe absorber toda la energía del impacto que produce el deportista al aterrizar.
Evitar el rebote del gimnasta.	La colchoneta debe absorber la energía suficiente para que el deportista no "salte" o se separe de la colchoneta.
Que no se recupere la forma demasiado tarde.	La colchoneta no debe quedar deformada demasiado tiempo.
Limitar la deformación	Deben evitarse deformaciones excesivas, ya que provocan desequilibrios.
La deformación no debe provocar desequilibrios.	No debe haber deformaciones diferentes por zonas.
Debe absorber el impacto de los dos pies por igual.	La absorción de energía debe ser igual independientemente de la zona donde se aterrice.
Las juntas no deben "sentirse"	Las juntas no deben tener propiedades mecánicas diferentes (rigidez, deformación y absorción) del resto de la colchoneta.
Diferentes propiedades para entrenamiento y competición.	Interesa colchonetas más protectoras para entrenamiento que para competición.
Las chicas necesitan más protección.	Las colchonetas actuales no diferencian entre chicas y chicos. Las chicas opinan que son menos absorbentes o protectoras.
Diferentes aparatos necesitan diferente absorción.	El impacto que hay que amortiguar depende del tipo de aparato

Tabla 13.- Deformación y devolución de energía.

Familia: COLOR Y BRILLO	
Especificación	Definición
El color debe orientar durante el vuelo.	Conviene que la colchoneta se diferencie claramente del techo y paredes del pabellón para que el gimnasta no pierda la orientación.
El color debe estimular sin estresar.	Existen colores que se consideran poco agradables y pueden provocar nerviosismo.
No debe haber brillos.	Debe evitarse la reflexión de la luz del pabellón en la colchoneta para que el deportista no se deslumbré y se desoriente

Tabla 14.- Color y brillo.

Familia: ACABADOS	
Especificación	Definición
Evitar huecos con los aparatos.	Los huecos con los pies de los aparatos hay que protegerlos por posibles caídas o tropiezos.
Evitar huecos entre colchonetas.	Las uniones entre colchonetas adyacentes deben ser lo más ajustadas posibles, sin separaciones.
No deben verse las juntas.	Las juntas visibles provocan sensación de inseguridad. No deben ser vistas.

Tabla 15.- Acabados.

Familia: USO	
Especificación	Definición
Fáciles de transportar.	Hay que procurar que puedan moverse por la zona de entrenamientos facilitando que una o dos personas la transporten. Grandes pesos o volúmenes pueden ser problemáticos.
Fácil de limpiar.	Facilitar la limpieza con productos de uso cotidiano. Si puede ser sólo con agua mejor.
Las asas para transporte no deben romperse.	A veces se descosen o se rompen. Hay que evitarlo.

Tabla 16.- Uso.

- **Resultados sobre los criterios técnicos en la calidad demandada en la colchoneta: “CÓMO”.**

A continuación se enumeran los “CÓMOS” ó criterios técnicos obtenidos, a cerca de que actuaciones se deben realizar para conseguir la calidad demandada en las colchonetas. En este sentido, los resultados obtenidos fueron (tablas 17, 18, 19, 20 y 21):

Familia: PROPIEDADES SUPERFICIE	
Fricción calcetín	Medir la fricción del calcetín sobre los diferentes materiales posibles. El material se seleccionaría con el criterio de maximizar la fricción para evitar caídas.
Fricción piel	No existe ensayo. Se podría estimar con encuestas a gimnastas. Interesa maximizar la fricción para evitar caídas.
Fricción suelo	Medir con un ensayo de fricción. El material se seleccionaría con el criterio de maximizar la fricción sobre diferentes suelos.
Fricción colchonetas	Medir con un ensayo de fricción. El material se seleccionaría con el criterio de maximizar la fricción entre colchonetas.
Rugosidad suave	Medir la rugosidad para evitar quemaduras en la piel. La rugosidad puede tener influencia en la fricción y las quemaduras en la piel. Sería necesario una investigación específica.
Materiales "autolavables"	Seleccionar materiales para la funda de la colchoneta fáciles de limpiar.

Tabla 17.- Propiedades de la superficie.

Familia: PROPIEDADES MATERIALES (ESPUMAS DE RELLENO)	
Materiales rígidos	Medir la rigidez con ensayos. Materiales muy rígidos disminuyen la deformación pero pueden reducir la absorción de energía.
Materiales absorbentes	Medir con ensayos la absorción de energía.
Densidad Materiales	Medir la densidad. Tiene influencia en la deformación y la absorción de energía.
Velocidad de recuperación	Medir la velocidad con la que los materiales recuperan su forma tras un ensayo de impacto.
Usar Diferentes materiales	Combinar diferentes materiales para mejorar las propiedades.

Tabla 18.- Propiedades materiales.

Familia: DISEÑO ESTRUCTURAL	
Areaelasticidad	Medir el área de deformación en un ensayo de impacto. Influye en la estabilidad. A priori es mejor un área de deformación grande si se mantiene la absorción de energía, ya que implica menor hundimiento y mayor estabilidad.
Evitar juntas	Sistemas de unión que eviten o minimicen las juntas (por ejemplo machihembrados)
Comportamiento homogéneo	Medir el comportamiento homogéneo. La deformación en un ensayo de impacto debe ser la misma en todos los puntos de la colchoneta.
Posición de juntas	Las juntas o uniones deben estar alejadas de las zonas en las que cae el gimnasta.
Colchonetas apilables	Sistemas de colchonetas apilables para combinar propiedades.

Diseño para cada aparato	Adaptar las colchonetas en función del aparato para evitar huecos. Además se deberían adaptar las propiedades de amortiguación al tipo de aparato.
Piezas de relleno	Diseñar piezas de relleno que puedan utilizarse para los huecos de los pies de los aparatos.
Pieza superior continua	Colocar sobre la colchoneta una capa superior para ocultar las juntas.
Estructuras/Vaciados	Usar estructuras internas (vaciados) que mejoren las propiedades de los materiales reduciendo el peso.

Tabla 19.- Diseño estructural.

Familia: DISEÑO ESTÉTICO	
Color mate	Para evitar brillos.
Color poco estresante	Buscar información sobre el efecto psicológico de los colores.
Color diferenciado	Colores que se distingan claramente de los colores habituales de los techos y paredes de los pabellones. Se puede seleccionar mediante encuestas u opiniones de expertos.

Tabla 20.- Diseño estético.

Familia: ACABADOS	
Fundas extraíbles	El diseño debe facilitar la extracción del material. Se puede estumar mediante pruebas y encuestas a usuarios.
Reforzar el cosido de las asas	Medir mediante ensayo de tracción.

Tabla 21.- Acabados.

3.1.2.- Sinergias y conflictos entre “QUÉ” y “CÓMO”: “casa de la calidad”.

Del análisis realizado en base a la contribución de cada una de las posibles soluciones propuestas para resolver los problemas y necesidades en las colchonetas, se presenta de manera gráfica en la “Casa de la calidad” (tabla 22) qué aspectos poseen mayor o menor importancia (sinergia o conflicto) en base a la opinión de los expertos.

En la parte superior de la matriz central se encuentran los “CÓMOS” o la manera mediante la cual se intenta resolver cada uno de los “QUÉS” asociados a las colchonetas. En el lateral de la misma matriz se encuentran los “QUÉS” o cada una de las necesidades y problemas que los gimnastas y expertos han destacado. En este sentido, y como ejemplo práctico (ver tabla 22), se observa como uno de los “QUÉS” (fila 8 de la casa de la calidad) expresa la necesidad de que la colchoneta no devuelva la energía tras el impacto, por tal motivo se considera que existe una sinergia fuerte con los “CÓMOS” denominados materiales rígidos y materiales absorbentes (columna 9 y 10), y una sinergia moderada con la velocidad de recuperación de los materiales (columna 12). Con el resto de los “CÓMOS” la sinergia o conflicto no es que sea mayor o menor, sino que simplemente no existe y, por ello, no se contempla en la “Casa de la calidad”.

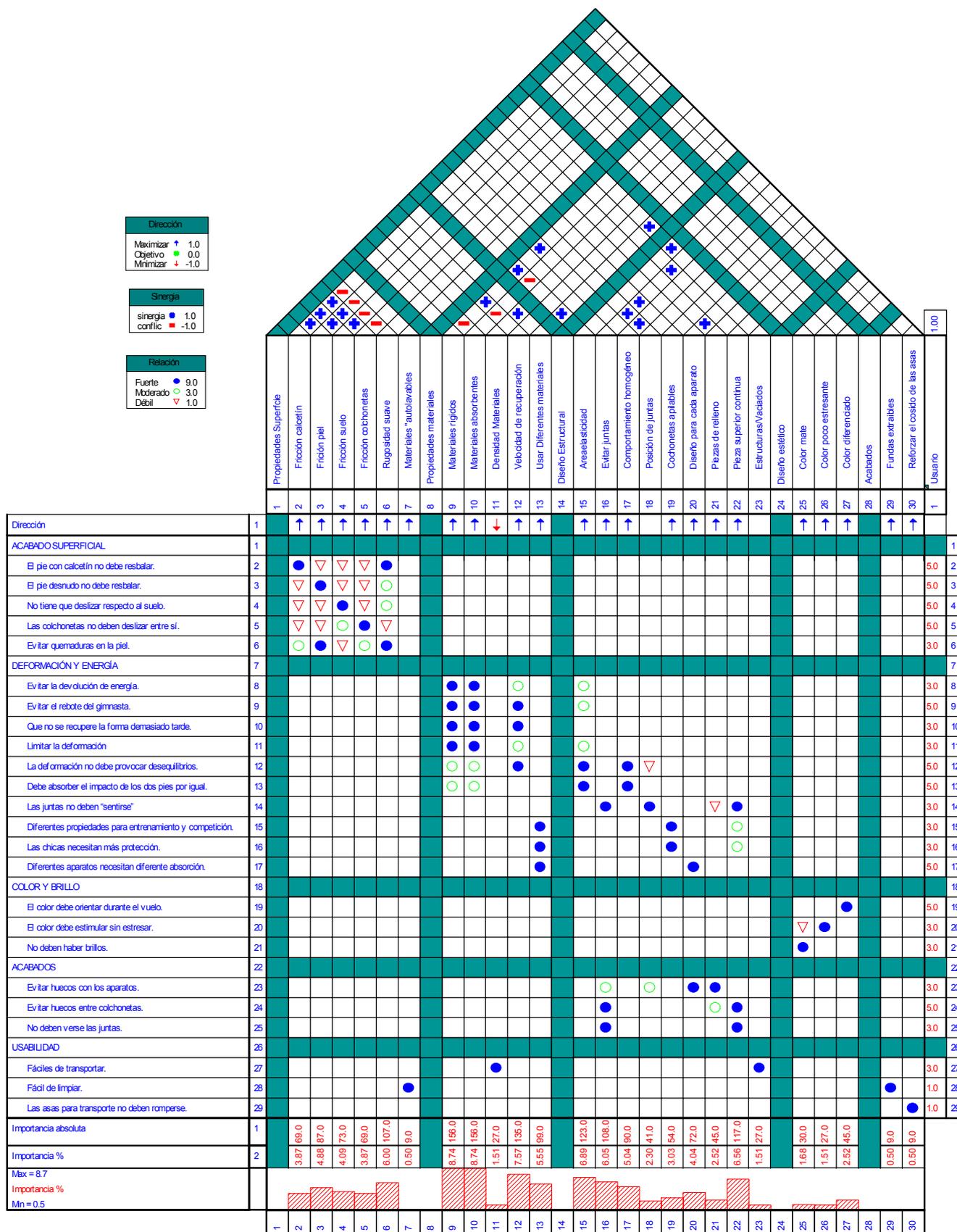


Tabla 22.- Resultados en la interacción entre QUÉS y CÓMOS: casa de la calidad.

En este sentido, la tabla anterior permite observar como los aspectos más valorados en una colchoneta, con un porcentaje de importancia > 5% son:

- Los materiales empleados: materiales rígidos (8.74%) y absorbentes (8.74%).
- La velocidad de recuperación (7.57%).
- El comportamiento areaelástico de la superficie (6.89%).
- Piezas superiores continuas (6.66%).
- Evitar juntas o uniones entre las colchonetas (6.05%).
- Rugosidad suave en la superficie (6.00%).
- Empleo de diferentes materiales (5.55%).
- Comportamiento homogéneo (5.04%).

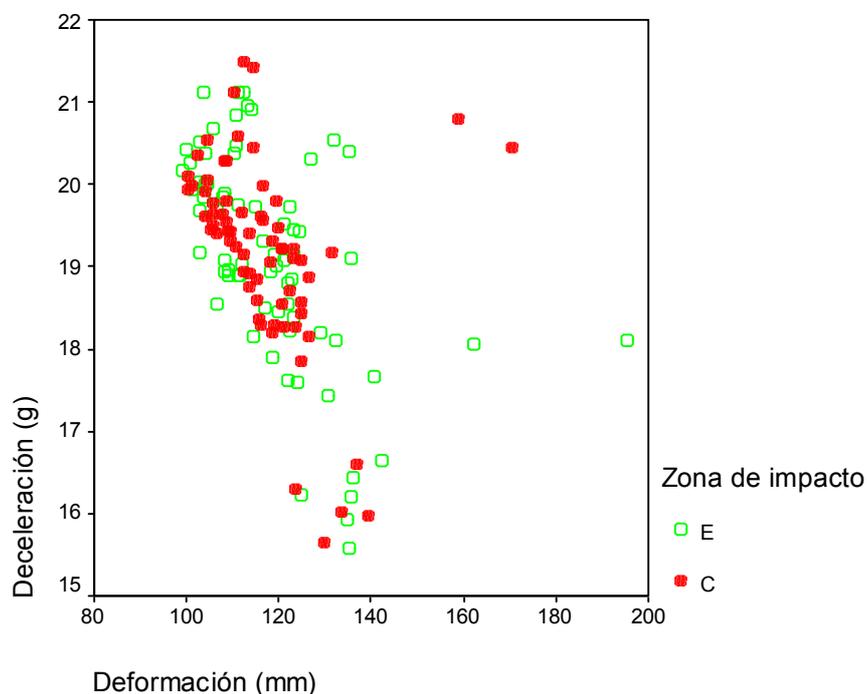
3.2.- ESTUDIOS MECÁNICOS.

Los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos permitieron entre otros aspectos:

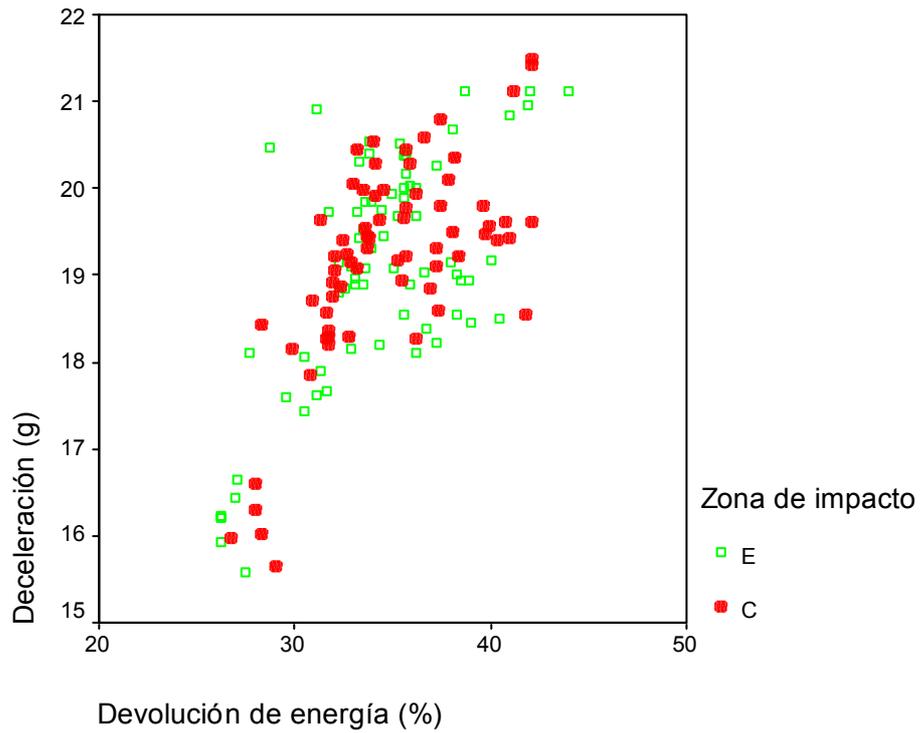
1. Analizar el comportamiento homogéneo de las colchonetas de nueva estructura.
2. Conocer cual era la situación actual de la muestra de colchonetas y su clasificación según norma.
3. Seleccionar una muestra de colchonetas para la realización de los estudio biomecánicos.

3.2.1.- Comportamiento homogéneo de las colchonetas de nueva estructura.

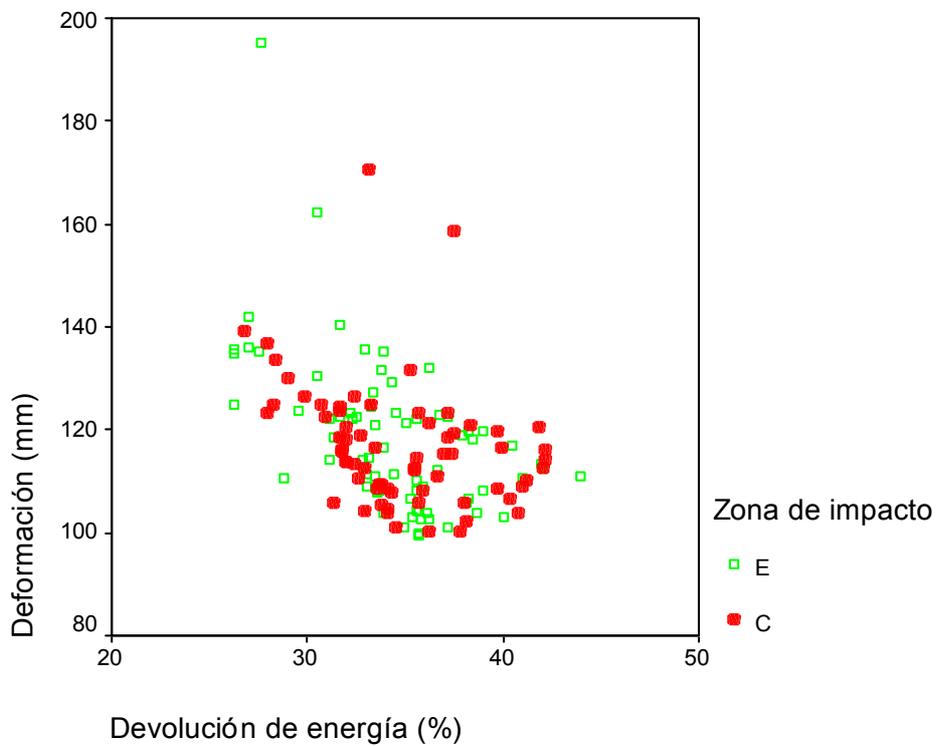
Mediante los gráficos de dispersión (gráficas 11, 12 y 13), obtenidos en base a los resultados del impactador sobre las dos zonas analizadas (E.- encima de las coquillas y C.- Centro de las coquillas), se observa como la deceleración, deformación y devolución de energía presentan comportamientos similares para ambas zonas de impacto.



Gráfica 11.- Dispersión deceleración-deformación.



Gráfica 12.- Dispersión devolución de energía-deceleración.



Gráfica 13.- Dispersión deceleración-devolución de energía.

El análisis de varianza (ANOVA) (tablas 23, 24 y 25 y gráficos 14, 15 y 16) no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre zonas de impacto. Sin embargo, el análisis Post hoc realizado sí que muestra diferencias ($p < 0.05$) entre la variable colchoneta y la zona de impacto, la cual parece estar motivada más por la variabilidad de las colchonetas que por la zona de impacto.

Deceleración						
Colchoneta	Zona de impacto	Media	Error típ.	Zona de impacto	Media	Error típ.
1	C	20.29	0.19	E	20.29	0.15
2	C	18.28	0.19	E	18.06	0.15
3	C	16.11	0.15	E	16.07	0.15
4	C	19.85	0.15	E	20.52	0.15
5	C	18.67	0.15	E	18.40	0.17
6	C	19.55	0.15	E	19.24	0.19
7	C	19.44	0.15	E	18.77	0.15
8	C	21.05	0.15	E	21.00	0.17
9	C	19.53	0.17	E	19.91	0.15
10	C	19.04	0.15	E	18.88	0.15
11	C	19.97	0.17	E	19.94	0.15
12	C	19.13	0.15	E	19.05	0.15
13	C	19.08	0.17	E	19.19	0.15
14	C	19.91	0.15	E	20.23	0.15
15	C	18.23	0.15	E	17.392	0.15

En todos los casos $p > 0.05$.

Tabla 23.- Valores medios de deceleración por zonas de impacto.

Deformación						
Colchoneta	Zona de impacto	Media	Error típ.	Zona de impacto	Media	Error típ.
1	C	105.86	5.67	E	125.43	4.39
2	C	116.85	5.67	E	144.51	4.39
3	C	132.61	4.39	E	133.41	4.39
4	C	117.30	4.39	E	110.99	4.39
5	C	119.16	4.39	E	120.56	4.91
6	C	106.84	4.39	E	111.67	5.67
7	C	118.91	4.39	E	121.61	4.39
8	C	133.32	4.39	E	111.85	4.91
9	C	107.85	4.91	E	103.51	4.39
10	C	115.38	4.39	E	108.27	4.39
11	C	105.07	4.91	E	107.32	4.39
12	C	114.07	4.39	E	118.40	4.39
13	C	125.91	4.91	E	122.94	4.39
14	C	103.83	4.39	E	101.07	4.39
15	C	123.72	4.39	E	131.79	4.39

En todos los casos $p > 0.05$.

Tabla 24.- Valores medios de deformación por zonas de impacto.

Devolución de energía						
Colchoneta	Zona de impacto	Media	Error típ.	Zona de impacto	Media	Error típ.
1	C	33.71	1.15	E	32.28	0.89
2	C	31.73	1.15	E	31.69	0.89
3	C	28.01	0.89	E	26.63	0.89
4	C	34.30	0.89	E	35.39	0.89
5	C	37.90	0.89	E	38.35	1.00
6	C	39.95	0.89	E	36.25	1.15
7	C	38.92	0.89	E	36.91	0.89
8	C	39.20	0.89	E	42.21	1.00
9	C	33.25	1.00	E	35.53	0.89
10	C	32.11	0.89	E	36.13	0.89
11	C	36.79	1.00	E	34.85	0.89
12	C	33.10	0.89	E	33.15	0.89
13	C	34.80	1.00	E	33.52	0.89
14	C	34.90	0.89	E	35.81	0.89
15	C	31.33	0.89	E	29.96	0.89

En todos los casos $p > 0.05$.

Tabla 25.- Valores medios de devolución de energía por zonas de impacto.

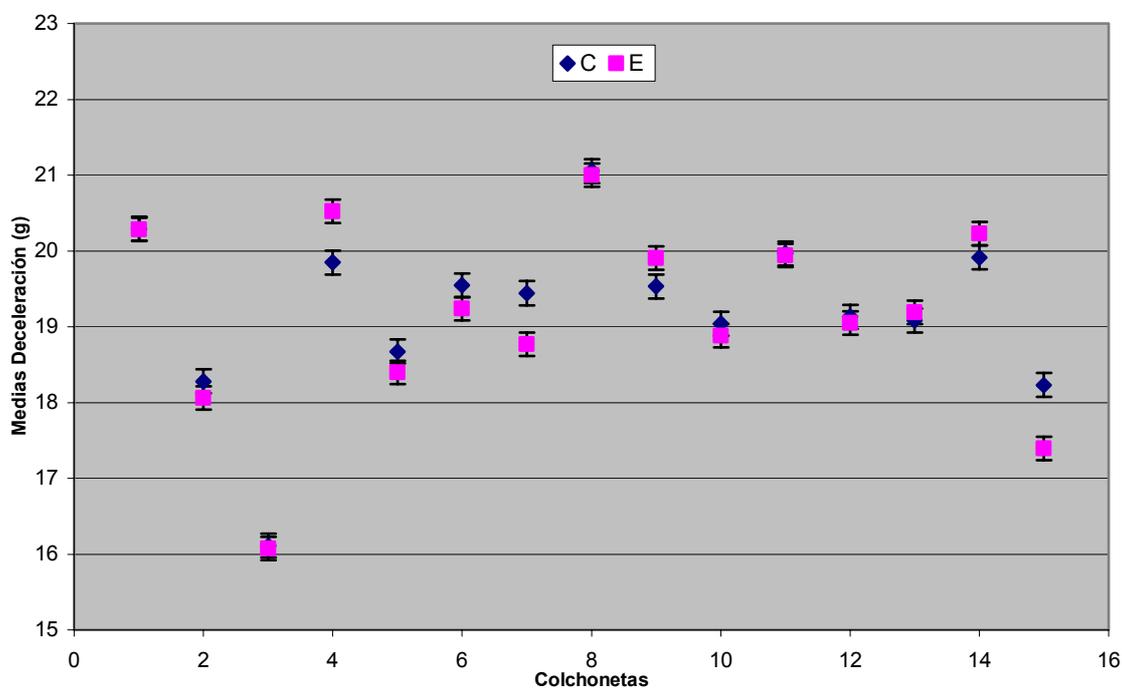


Gráfico 14.- Valores medios de deceleración en las dos zonas de impacto.

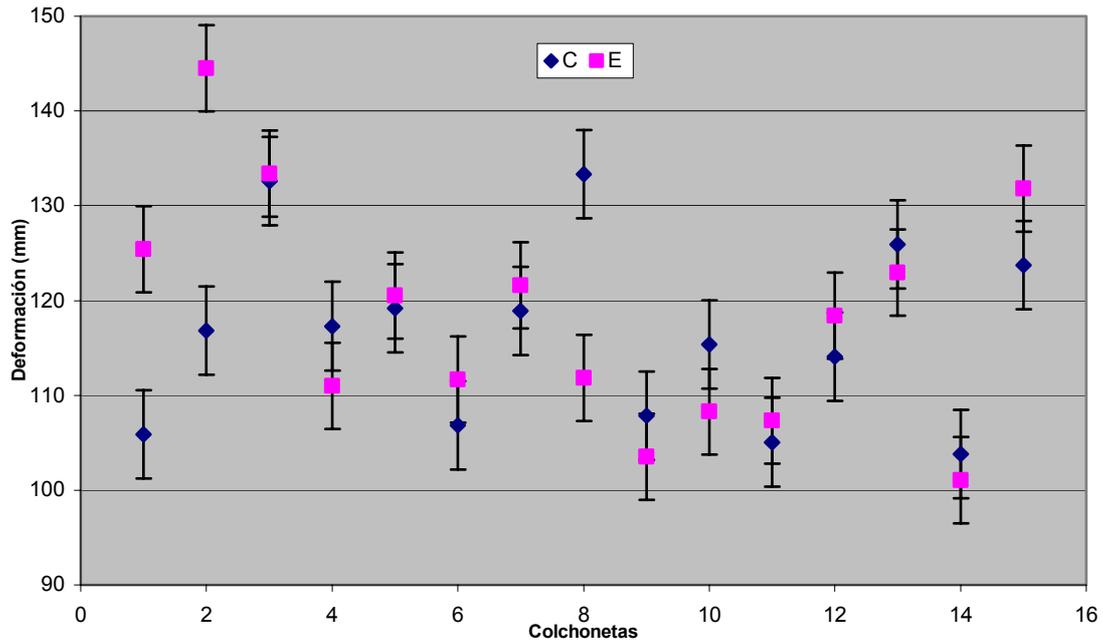


Gráfico 15.- Valores medios de deformación en las dos zonas de impacto.

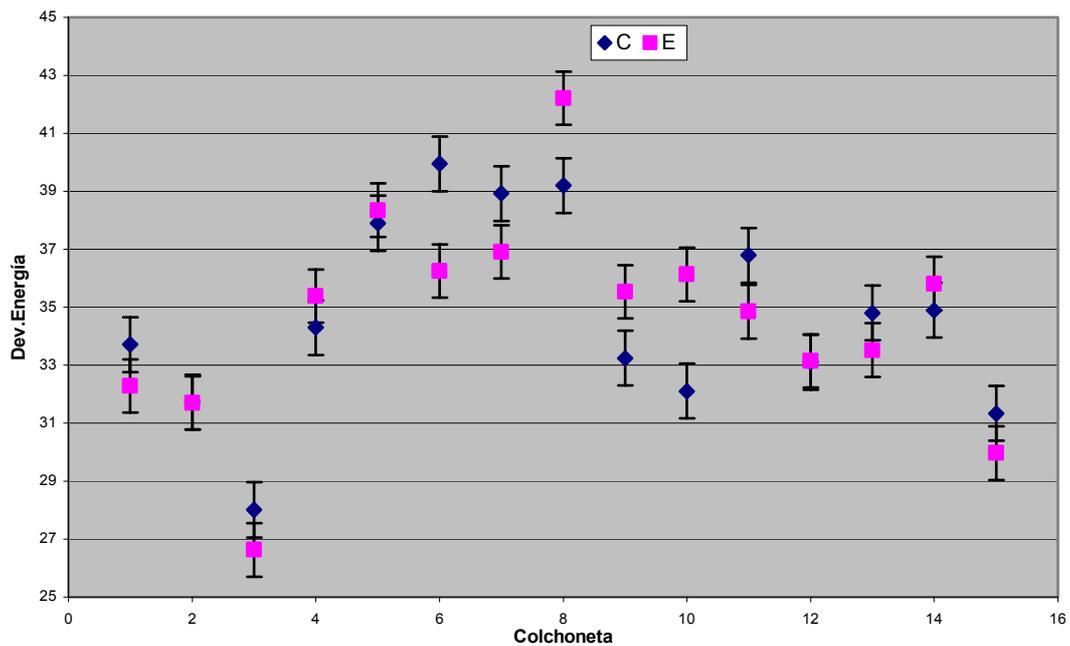


Gráfico 16.- Valores medios de devolución de energía en las dos zonas de impacto.

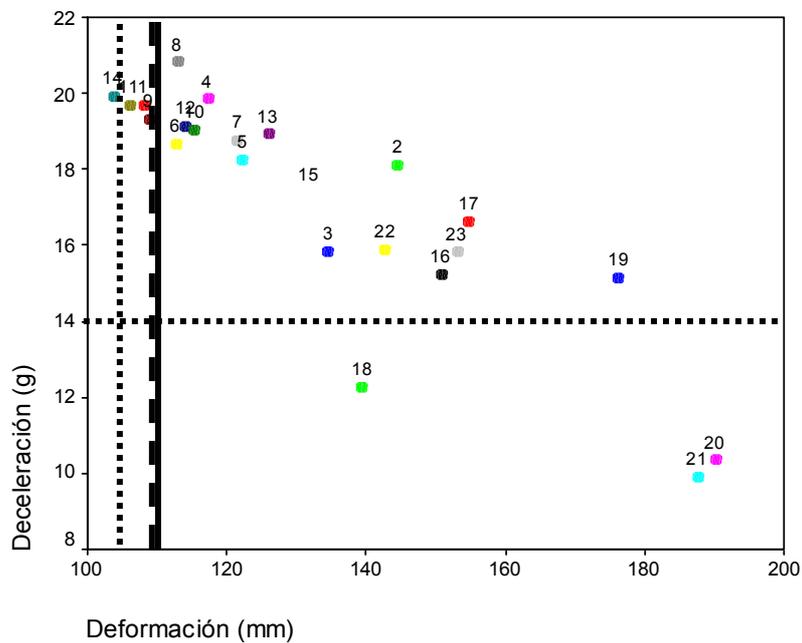
3.2.2.- Situación actual de la muestra de colchonetas frente a la norma EN 12503.

Los resultados obtenidos en las variables de deceleración, deformación y devolución de energía de los ensayos mecánicos fueron comparados con los criterios que la EN 12503 establece en las colchonetas para salidas de aparatos (ver estado del arte, tabla 4).

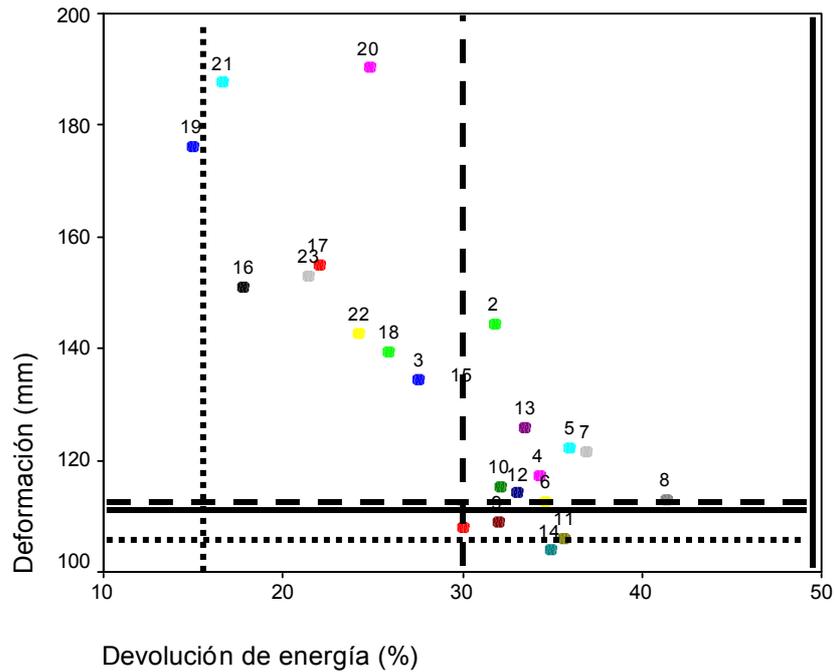
En el análisis de las gráficas de dispersión 17, 18 y 19 de las medias de cada variable, se observa como dentro de los límites normativos establecidos (tabla 26), las colchonetas pueden ser clasificadas en tres tipos según norma: colchoneta tipo 6, tipo 5 y tipo 4.

.....	Expresa los valores límites normativos para las colchonetas tipo 6.
---	Expresa los valores límites normativos para las colchonetas tipo 5.
—	Expresa los valores límites normativos para las colchonetas tipo 4.

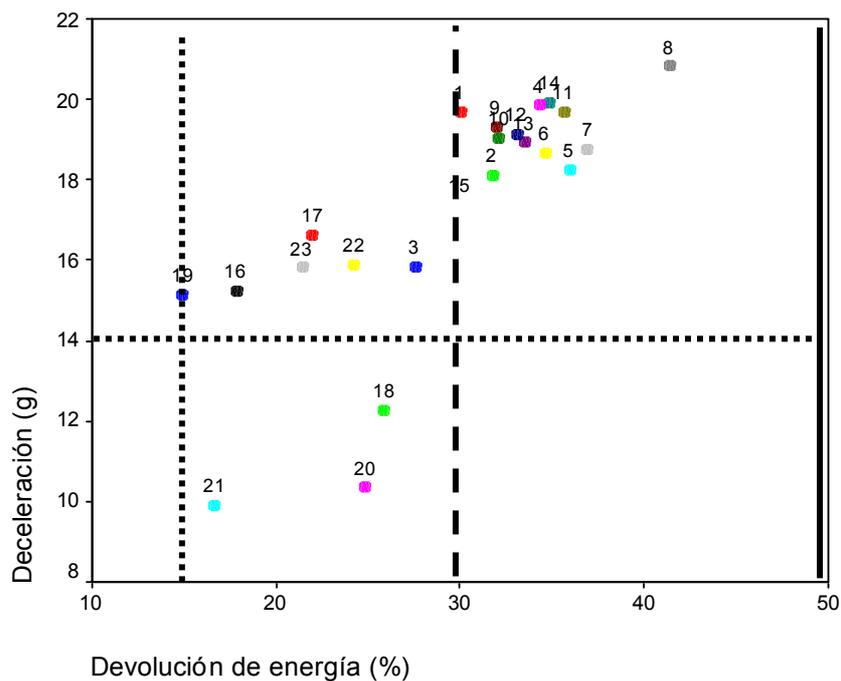
Tabla 26.- Límites normativos EN 12503 para la clasificación de las colchonetas.



Gráfica 17.- Dispersión deceleración – deformación.



Gráfica 18.- Dispersión deformación-devolución de energía.



Gráfica 19.- Dispersión deceleración-devolución de energía.

Si se analizan las gráficas anteriores, se observa como ninguna de las colchonetas analizadas sería clasificada como tipo 6 en la normativa EN, ya que, si bien alguna cumple el criterio establecido en la variable deceleración, como por ejemplo las colchonetas nº 18, 20 y 21, en el resto de criterios (deformación y devolución de energía) no lo cumplen. Además, un grupo reducido de ellas podrían ser clasificadas de tipo 4, tales como colchonetas nº 1, 9, 11 y 14, dado que cumplen todos los criterios establecidos.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de cada variable (deceleración, deformación, devolución de energía) (Tabla.- 27) (gráficos 20, 21 y 22) mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre colchonetas, además de una gran variabilidad en los resultados, así los resultados muestran: deceleración (10.1g/20.8g), deformación (106.1/190.2 mm) y devolución de energía (17.4%/41.4%).

Dada la complicación de indicar en la tabla 27 y en los gráficos 20, 21 y 22 las diferencias estadísticamente significativas entre las colchonetas, en el siguiente apartado 3.2.3, la tabla 28 muestra las diferencias por grupos de colchonetas en base a los resultados obtenidos.

VARIABLES	Deceleración		Deformación		Devol.Energía	
Colchoneta	Media	Error típ.	Media	Error típ.	Media	Error típ.
1	19.69	0.35	108.06	4.05	30.05	1.23
2	18.12	0.35	144.51	4.05	31.77	1.23
3	15.83	0.35	134.57	4.05	27.56	1.23
4	19.85	0.35	117.30	4.05	34.30	1.23
5	18.23	0.35	122.28	4.05	38.35	1.37
6	18.67	0.35	112.73	4.05	34.63	1.23
7	18.77	0.35	121.61	4.05	36.91	1.23
8	20.82	0.35	113.01	4.05	41.37	1.23
9	19.33	0.35	108.93	4.05	31.99	1.23
10	19.04	0.35	115.38	4.05	32.11	1.23
11	19.68	0.35	106.12	4.05	35.66	1.23
12	19.13	0.35	114.07	4.05	32.93	1.37
13	18.93	0.39	124.54	4.53	33.49	1.23
14	19.94	0.45	103.45	4.53	34.90	1.23
15	17.58	0.39	131.79	4.05	29.96	1.23
16	15.23	0.35	150.88	4.05	21.59	1.37
17	16.64	0.35	154.05	5.23	21.34	1.37
18	12.29	0.35	138.72	4.53	25.90	1.23
19	15.16	0.35	176.27	4.05	14.94	1.23
20	10.19	0.39	190.27	4.05	24.85	1.23
21	10.05	0.39	182.64	4.53	17.43	1.37
22	15.87	0.35	142.78	4.05	24.24	1.23
23	15.81	0.35	153.99	4.53	21.44	1.23

Tabla 27.- Valores medios y error de deceleración, deformación y devolución de energía en cada colchoneta.

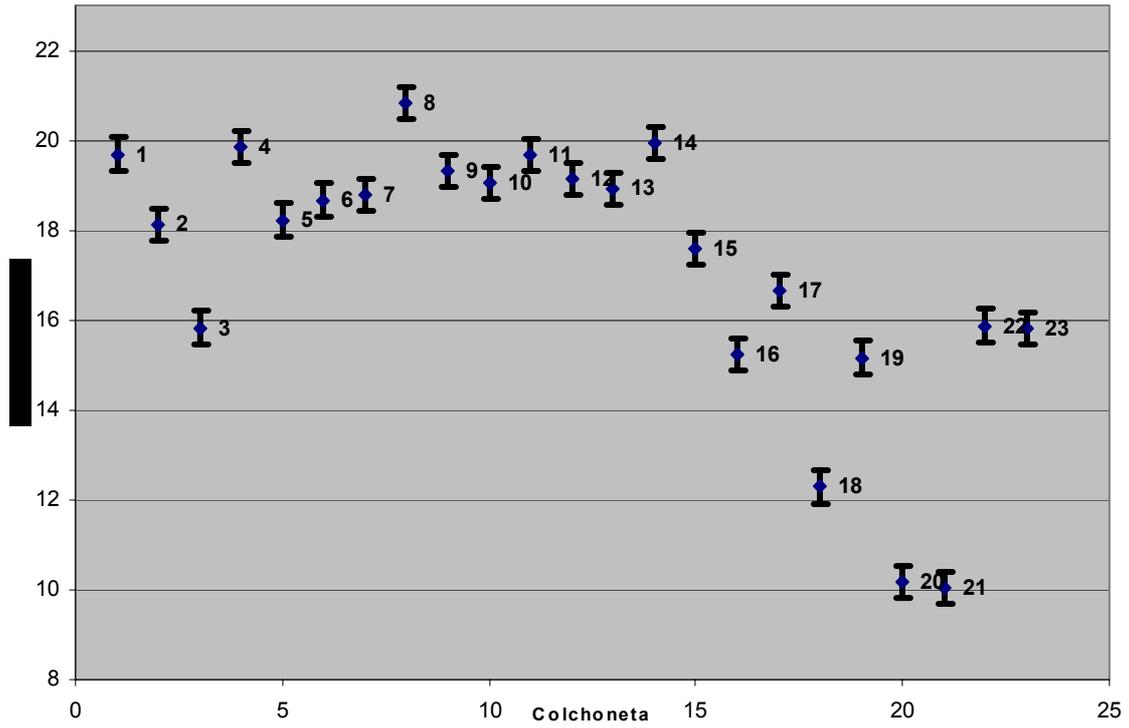


Gráfico 20.- Valores medios y error de deceleración en cada colchoneta.

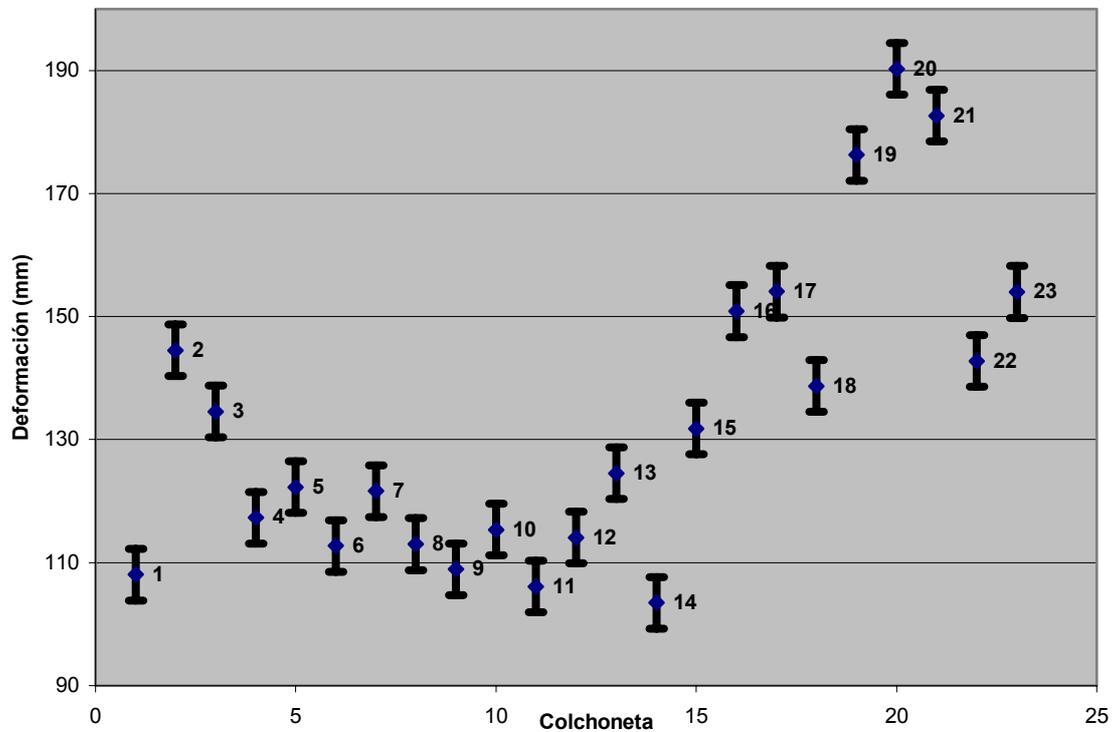


Gráfico 21.- Valores medios y error de deformación en cada colchoneta.

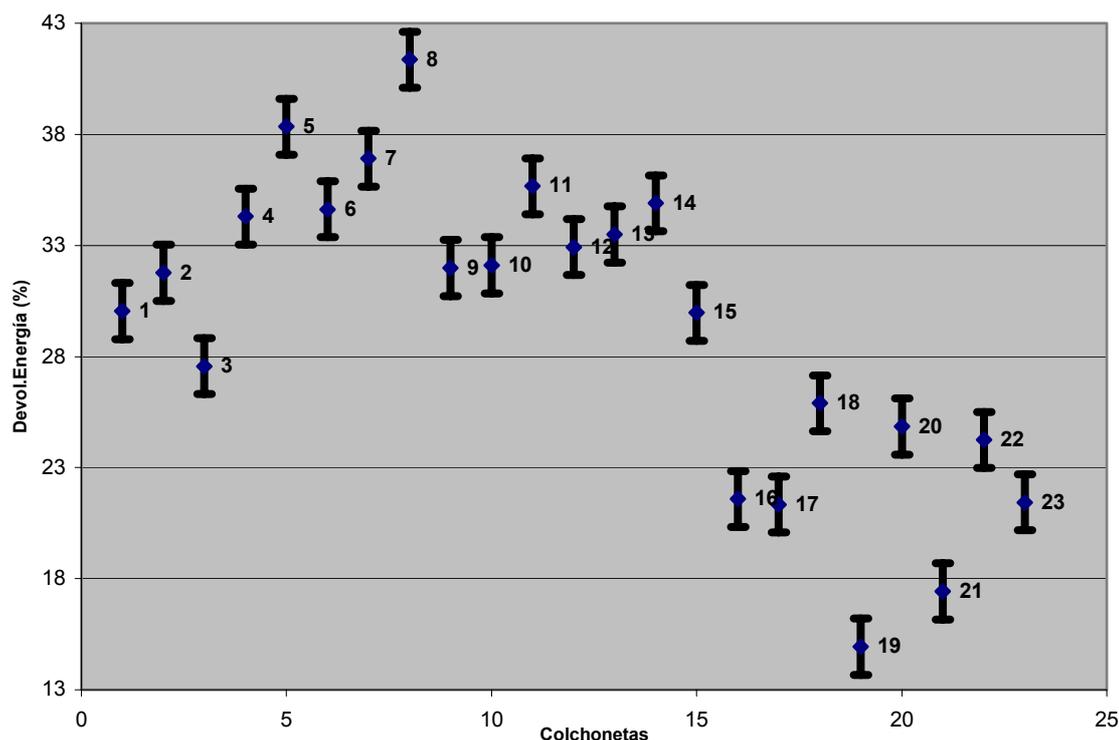


Gráfico 22.- Valores medios y error de devolución de energía en cada colchoneta.

3.2.3.- Selección de colchonetas para el estudio biomecánico de la recepción.

En base a los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos, los criterios de selección de las colchonetas para el posterior estudio biomecánico de la recepción fue que su estructura fuera diferente y que presentaran diferencias estadísticas significativas en los ensayos mecánicos, ya que los resultados obtenidos muestran, como ninguna de las colchonetas cumple todos los criterios para ser aceptada y utilizada en la gimnasia deportiva, ya que si bien cumplen algún criterio dentro de los límites normativos establecidos en las variables analizadas (deceleración, deformación y devolución de energía), ninguna colchoneta los cumple en las tres variables por igual (tabla 28).

VARIABLES Colchoneta	Deceleración media	Deceleración EN 12503	Deformación media	Deformación EN 12503	Devol.Energía media	Devol.Energía EN 12503
2	18.12	≤ 14 - ≤ 40	144.51	≤ 105 - ≤ 110	31.77	≤ 15 - ≤ 50
6	18.67		112.73		34.63	
8	20.82		113.01		41.37	
18	12.29		138.72		25.90	
19	15.16		176.27		14.94	
21	10.05		182.64		17.43	

Tabla 28.- Resultados ensayos mecánicos de las colchonetas seleccionadas y criterios EN 12503.

Según se observa en el gráfico 23, se podrían establecer diferentes grupos de colchonetas:

- Grupo 1: Colchonetas con ↑ deceleración y ↓ deformación.
- Grupo 2: Colchonetas similar deceleración y deformación.
- Grupo 3: Colchonetas con ↓ deceleración y ↑deformación.
- Grupo 4: Dos colchonetas con diferentes valores en la deformación, y deceleración.

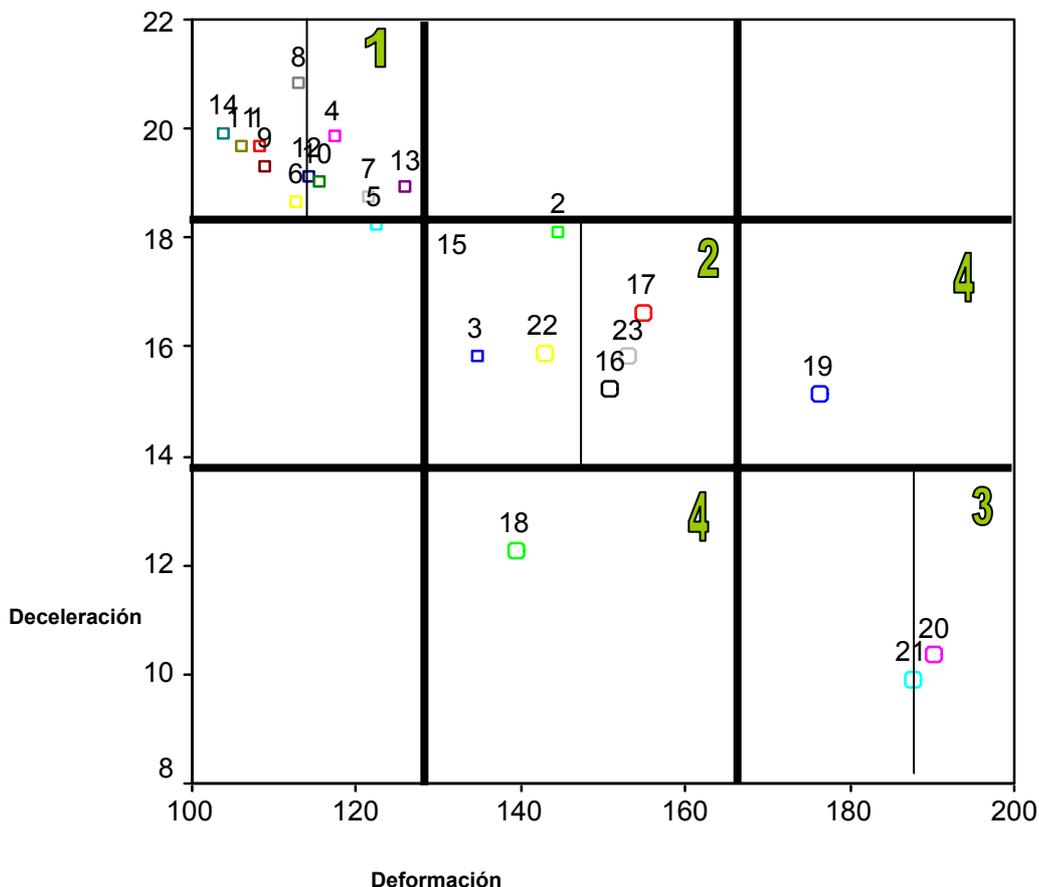


Gráfico 23.- Distribución de grupos en base a la dispersión de las medias de deceleración (G) y deformación (D).

Los diferentes grupos de colchonetas según los resultados obtenidos en deformación y deceleración son (tabla 29):

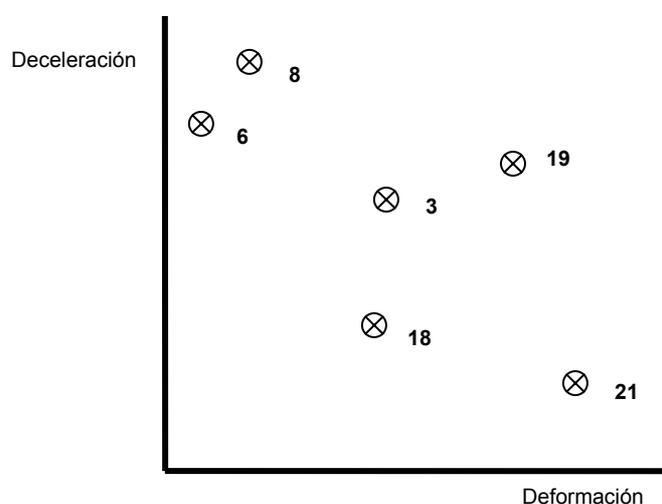
GRUPOS DE COLCHONETAS	COLCHONETAS
GRUPO 1	8,4,13,14,11,9,12,10,6,5,7
GRUPO 2	2,15,17,3,22,23,16,17
GRUPO 3	21,22
GRUPO 4	18 y 19

Tabla 29.- Grupos de colchonetas ordenados en función de los resultados obtenidos en deceleración y deformación.

Cada uno de los grupos de colchonetas quedaría dividido a su vez en dos, para seleccionar aquellas colchonetas (dentro de un mismo grupo) con diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en sus resultados. Mediante este criterio se asegura que la selección de las colchonetas contemple, dentro de un mismo grupo aquellas más representativas y con comportamiento diferente. Se podría haber utilizado en los estudios biomecánicos una nueva muestra de colchonetas con criterios válidos según norma, sin embargo, esto no se realizó, ya que gran parte de estas colchonetas se encuentran actualmente en los centros de entrenamiento de nuestra nación. En este sentido;

- *En el grupo 1;* la colchoneta nº 6 y la nº 8 muestran los resultados más dispares, teniendo la nº 6 los valores de deformación y deceleración más bajos, y la nº 8 los valores más elevados.
- *En el grupo 2;* la colchoneta nº 3 es la que obtiene valores de deformación y deceleración más bajos, siendo, por tanto, la colchoneta con mejores resultados dentro de este grupo desde el punto de vista normativo.
- *En el grupo 3;* la colchoneta nº 21 quedaría seleccionada por similares motivos que la nº 3.
- *En el grupo 4;* se han seleccionado tanto la colchoneta nº 18 como la nº 19, ya que pese a ser colchonetas formadas por el mismo material, poseen un comportamiento y resultados muy distintos en cuanto a deformación y deceleración.

Como se puede observar en esta selección (gráfica 24), la muestra de colchonetas cubre un amplio rango de resultados diferentes en los ensayos mecánicos, así como de diseño:



Gráfica 24.- Colchonetas seleccionadas.

- Colchonetas 3, 6 y 8: con capa superior, capa de coquillas y relleno de espuma (con elevados valores en la deceleración y baja deformación).

- Colchonetas 18 y 19: con material de polietileno y una capa superior de diferente densidad y espesor (la 19 con elevados valores en al deformación y la 18 con bajos valores de deformación y deceleración).

- Colchoneta 21: con material únicamente de polietileno (con valores bajos de deceleración y altos valores de deformación).

3.3.- ESTUDIOS BIOMECÁNICOS.

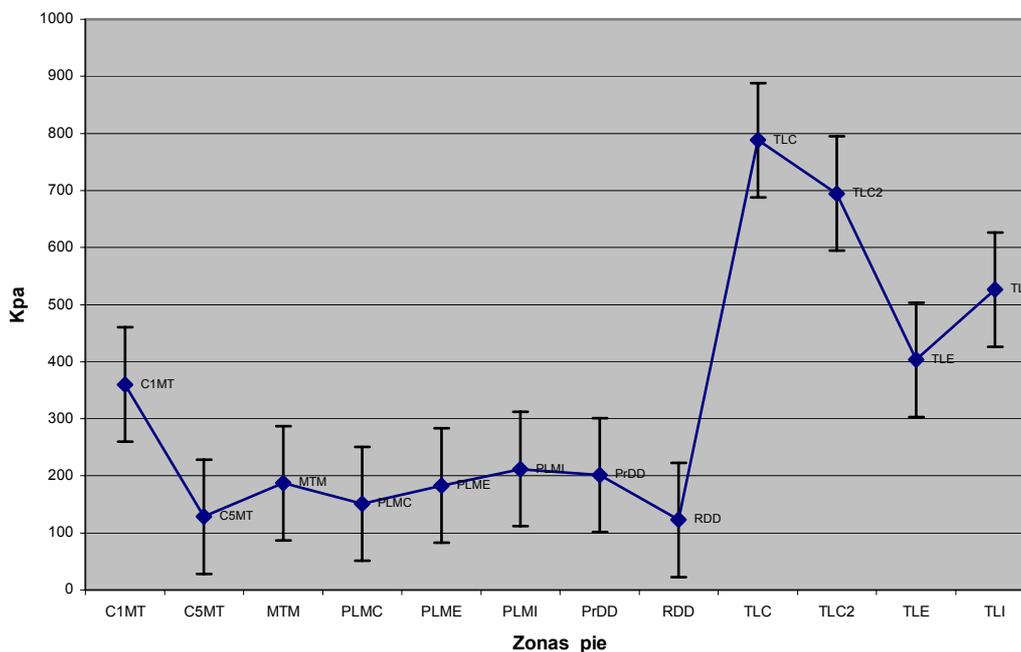
3.3.1.- Estudios de presurometría.

3.3.1.1.- Análisis exploratorio.

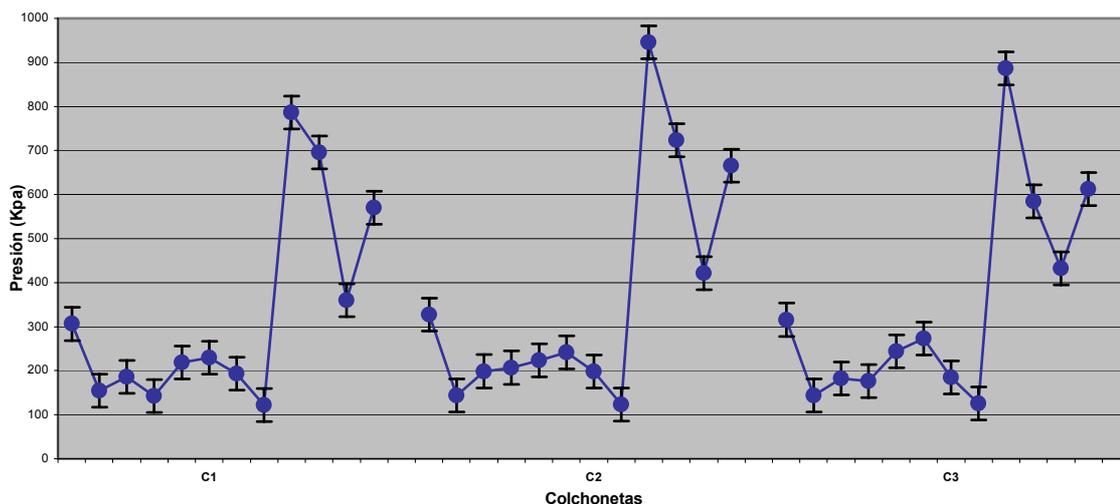
Siendo MZ la variable que representa las medias de los máximos valores de presión por zona, tras realizar los diagramas de caja, se eliminaron (filtraron) de MZ todos aquellos registros que significaban valores que estaban muy por encima o por debajo de las medias en los máximos de presión por zona.

3.3.1.2.- Descripción del patrón de recepción realizado por los gimnastas.

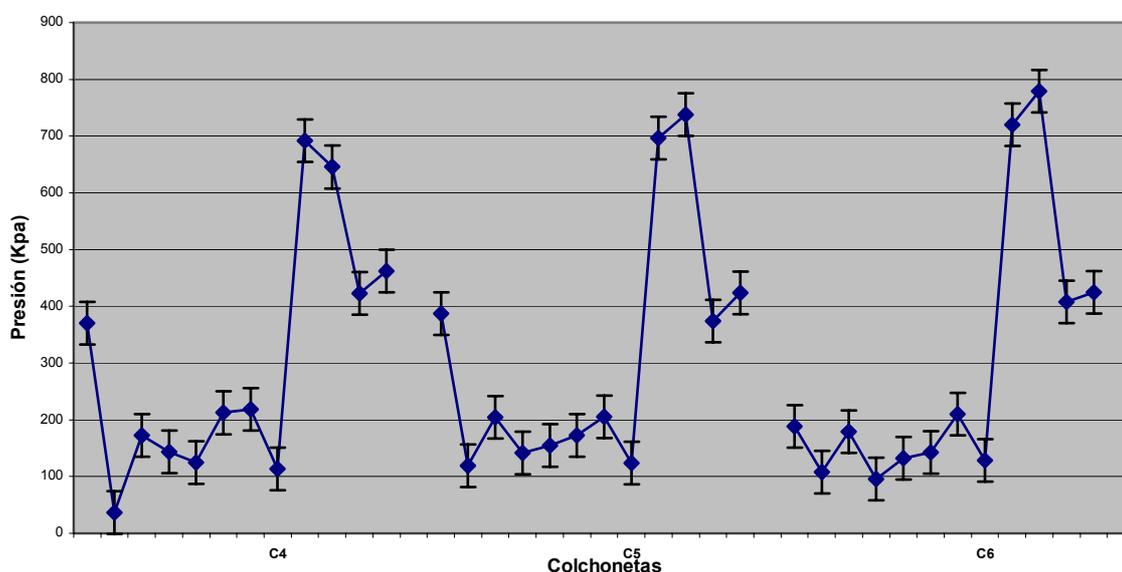
Del análisis de las gráficas obtenidas (gráfica 25), se puede observar un patrón de presiones plantares repetitivo, con independencia de la colchoneta (gráficas 26 y 27). Dicho patrón se caracteriza por tener las máximas presiones en el talón, especialmente en la zona del TLC donde se alcanzan valores próximos a 800 Kpa. El resto de zonas se mantiene con valores cercanos a 200Kpa, a excepción de C1MT, donde se alcanzan los 350 Kpa.



Gráfica 25.- Medias de presión por zonas del pie.



Gráfica 26.- Medias de presión en colchonetas C1, C2 y C3.



Gráfica 27.- Medias de presión en colchonetas C4, C5 y C6.

3.3.1.3.- Comparación entre las medias por zona (ANOVA).

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA), mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la zona del pie, a excepción de las zonas PrDD, TLC2 y TLE (ver anexo 3). Además, también se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las colchonetas para las distintas zonas del pie analizadas, tal y como muestra la tabla.- 30, donde se observa por ejemplo, como en la zona de la cabeza del primer metatarsiano (C1MT), la colchoneta C1, entre otras, posee diferencias significativas con la C4, C5 y C6.

PARÁMETROS	Colchonetas con diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$)
C1MT	C1:C4,C5,C6 – C2:C4,C5,C6 – C3:C4,C5,C6 – C4:C1,C2,C3,C6 – C5:C1,C2,C3,C6 – C6:Todas
C5MT	C1:C2,C3 – C2: C1,C4, C5,C6 – C3: C1,C4, C5,C6 – C4:C2,C3 – C5:C2,C3 – C6:C2,C3
MTM	C4:C5 – C5:C4
PLMC	C1:C2 – C2:Todas – C3:C2,C5,C6 – C4:C2,C6 – C5:C2,C3 – C6:C2,C3,C4
PLME	C1:C3 – C2:C3,C4 – C3:Todas – C4:C2,C3 – C5:C3 – C6:C3
PLMI	C1:C5,C6 – C2:C5,C6 – C3:C5,C6 – C4:C5,C6 – C5:C1,C2,C3,C4 – C6:C1,C2,C3,C4
PrDD	C1:C4 – C2:C4 – C3:C4 – C4:C1,C2,C3
RDD	C1:C2,C4,C5 – C2:C1,C3,C6 – C3:C2,C4 – C4:C1,C3,C6 – C5:C1 – C6:C2,C4
TLC	C1:C2,C5 – C2:Todas – C3:C2,C3,C4,C5,C6 – C4:C2,C3 – C5:C1,C2,C3 – C6:C2,C3
TLC2	C3:C5,C6 – C5:C3 – C6:C3
TLE	C1:C2 – C2:C1
TLI	C1:C2,C4,C5,C6 – C2:C1,C4,C5,C6 – C3:C4,C5,C6 – C4:C1,C2,C3 – C5:C1,C2,C3 – C6:C1,C2,C3

Tabla 30.- Colchonetas con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para las diferentes zonas del pie analizadas.

Si se observan las gráficas del anexo 3, se puede distinguir como existen diferencias significativas entre algunos grupos de colchonetas. Concretamente las colchonetas C1, C2 y C3 difieren, en bastantes ocasiones, de las presiones obtenidas en las colchonetas C4, C5 y C6. Lo cual es relevante, dado que son colchonetas de diferente estructura o diseño.

3.3.1.4.- Análisis factorial.

Los resultados del análisis factorial realizado permitieron identificar la relaciones existentes entre las presiones de las distintas zonas del pie. Las comunalidades de las variables de estudio (tabla 31), obtenidas mediante el método de extracción de análisis de componentes principales, nunca fueron menores que 0.7, identificándose 4 componentes (o factores) con un 83,804 % de la varianza total explicada (tabla 32).

	Inicial	Extracción
C1MT	1.000	.823
C5MT	1.000	.913
MTM	1.000	.818
PLMC	1.000	.850
PLME	1.000	.791
PLMI	1.000	.886
PRDD	1.000	.882
RDD	1.000	.754
TLC	1.000	.889
TLC2	1.000	.871
TLE	1.000	.829
TLI	1.000	.749

Tabla 31.- Análisis factorial: Comunalidades.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3.887	32.393	32.393	3.887	32.393	32.393	3.251	27.090	27.090
2	2.659	22.156	54.549	2.659	22.156	54.549	2.355	19.622	46.712
3	2.437	20.306	74.854	2.437	20.306	74.854	2.322	19.347	66.059
4	1.074	8.950	83.804	1.074	8.950	83.804	2.129	17.745	83.804
5	.527	4.392	88.196						
6	.386	3.218	91.414						
7	.302	2.516	93.930						
8	.223	1.856	95.786						
9	.197	1.641	97.427						
10	.130	1.080	98.506						
11	.104	.863	99.370						
12	7.562E-02	.630	100.000						

Tabla 32.- Varianza total explicada.

Las 4 componentes principales extraídas (tabla 33), permitirán agrupar las 12 zonas del pie en 4 componentes diferenciadas.

	Componente			
	1	2	3	4
PLMI	.933			
PLMC	.904			
TLC2	-.807		.460	
C1MT		.903		
PRDD		.863		
MTM	-.484	.680		
TLC			.896	
TLI			.813	
TLE	-.605		.624	
C5MT				.934
PLME			.417	.772
RDD		.439		.678

Tabla 33.- Matriz de componentes rotados.

- **Configuración de las zonas del pie para el análisis de la recepción.**

Tras el análisis estadístico realizado, el estudio de las presiones plantares durante la recepción se puede realizar segmentando el pie en cuatro zonas (figura 25), cuyas presiones medias por zona durante la recepción muestra la tabla 34. Dos zonas muestran las presiones en la zona del talón (19.35 % de la varianza explicada) y la parte delantera del pie (19.62 % de la varianza explicada) y, otras dos zonas muestran las presiones en la parte interna (27.01 % de la varianza explicada) y externa del pie (17.75 % de la varianza explicada). En este sentido, el análisis de las relaciones entre el aumento o disminución de unas zonas y otras permite conocer aspectos relacionados con la estabilidad del gimnasta sobre la colchoneta.

ZONAS DE ANÁLISIS PLANTAR	PRESIONES
	Medias ± sd
1.- MEDIOPIÉ: PLMI, PLMC, TLC2, TLE, MTM.	329.14 ± 62.30 Kpa
2.- ANTEPIÉ: C1M, PRDD, RDD, MTM.	117.62 ± 28.75 Kpa
3.- RETROPIÉ: TLE, TLC, TLC2, TLI.	602.23 ± 100.96 Kpa
4.- PIE EXTERNO: C5M, PLME, RDD.	132.29 ± 19.16 Kpa

Tabla 34.- Presiones medias en zonas de estudio.

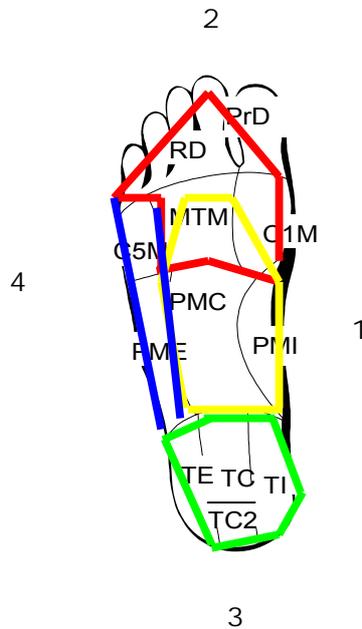


Figura 25.- Segmentación del pie en 4 zonas de análisis.

3.3.2.- Estudios de dinamometría y acelerometría.

En los estudios de dinamometría y acelerometría se analizaron dos tipos de variables:

- Variables cinemáticas como la aceleración de los segmentos en tibia y cabeza, así como los coeficientes de transmisión de las aceleraciones a lo largo del sistema músculo-esquelético.
- Variables cinéticas como la componente vertical de las fuerzas de reacción del suelo y su transmisión a lo largo del sistema músculo-esquelético.

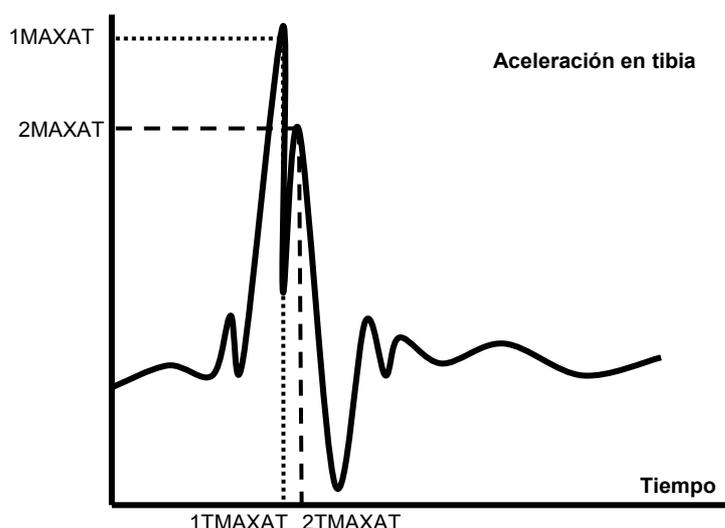
A continuación se describen las variables analizadas, los parámetros extraídos y los resultados estadísticamente significativos obtenidos tras su análisis, presentándose en primer lugar las variables cinemáticas, seguidas de las variables cinéticas y, finalmente los coeficientes de transmisión.

3.3.2.1.- Estudios de acelerometría.

Los resultados obtenidos en los dos acelerómetros uniaxiales ubicados en el tercio proximal de la tibia y en el hueso frontal del cráneo durante la recepción en la colchoneta fueron:

- **Aceleraciones medidas en la tibia.**

Tal y como se observa en la gráfica 28 las curvas temporales de la aceleración vertical presentaron una curva típica con dos máximos claramente identificables. El primer máximo corresponde a la brusca deceleración ocasionada por el contacto del talón con la colchoneta, y el segundo máximo como consecuencia del contacto entre la cabeza de los metatarsianos y la colchoneta.



Gráfica 28.- Gráfica temporal de las aceleraciones medidas en la tibia.

La parametrización de las curvas se realizó mediante un programa realizado con la aplicación Matlab. 6[®], que permitió obtener los siguientes parámetros:

- 1MAXAT: Primer máximo de aceleración en tibia, correspondiente al impacto del talón con la colchoneta.
- 2MAXAT: Segundo máximo de aceleración en tibia, correspondiente a la llegada de la cabeza de los metatarsianos a la colchoneta.
- 1TMAXAT: Instante de tiempo para 1MAXAT.
- 2TMAXAT: Instante de tiempo para 2TMAXAT.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA), mostraron como existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre algunas colchonetas para el segundo máximo de aceleración en tibia (2MAXAT) (tabla 35) (valores normalizados con el valor de la gravedad terrestre, es decir, 9.82 m/s^2). Destaca la colchoneta C6 por ser la única que posee diferencias significativas con el resto de colchonetas con menores valores para el 2MAXAT y mayores para el 2TMAXAT, la C5 respecto a la C1, C2, C3, y la C4 respecto a la C2, C3 (gráficas 29 y 30).

COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TÍPICA	COEF.VARIACIÓN (%)	TIEMPOS
C1	14.81	0.91	6.13	0.10
C2	15.36	0.89	5.77	0.10
C3	15.47	1.54	9.93	0.10
C4	14.07	1.11	7.86	0.10
C5	13.56	0.94	6.96	0.11
C6	11.62	0.89	7.67	0.11

Tabla 35.- Valores medios y tiempos para el segundo máximo de aceleración en tibia.

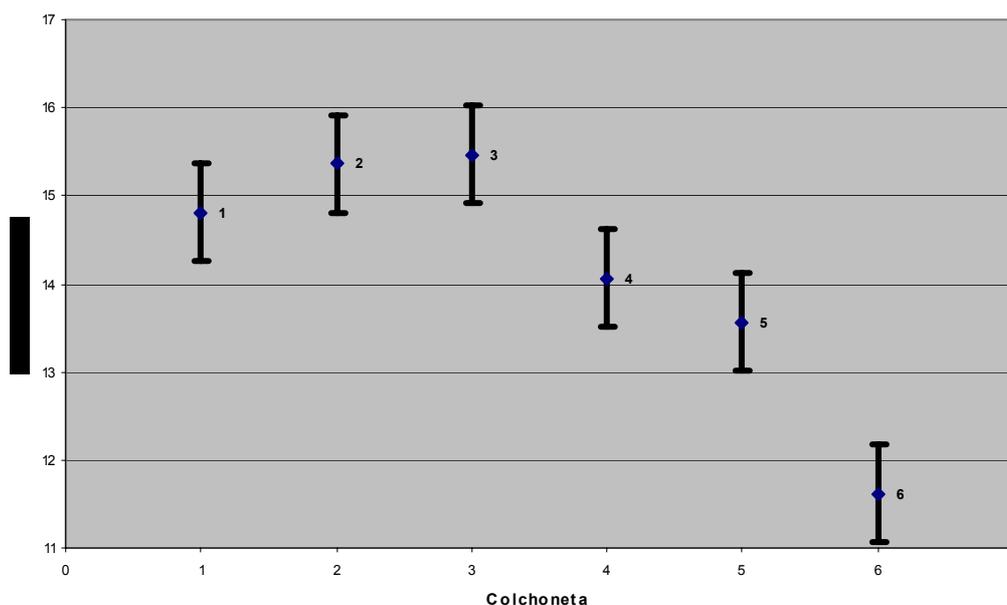


Gráfico 29.- Valores medios para el 2MAXAT.

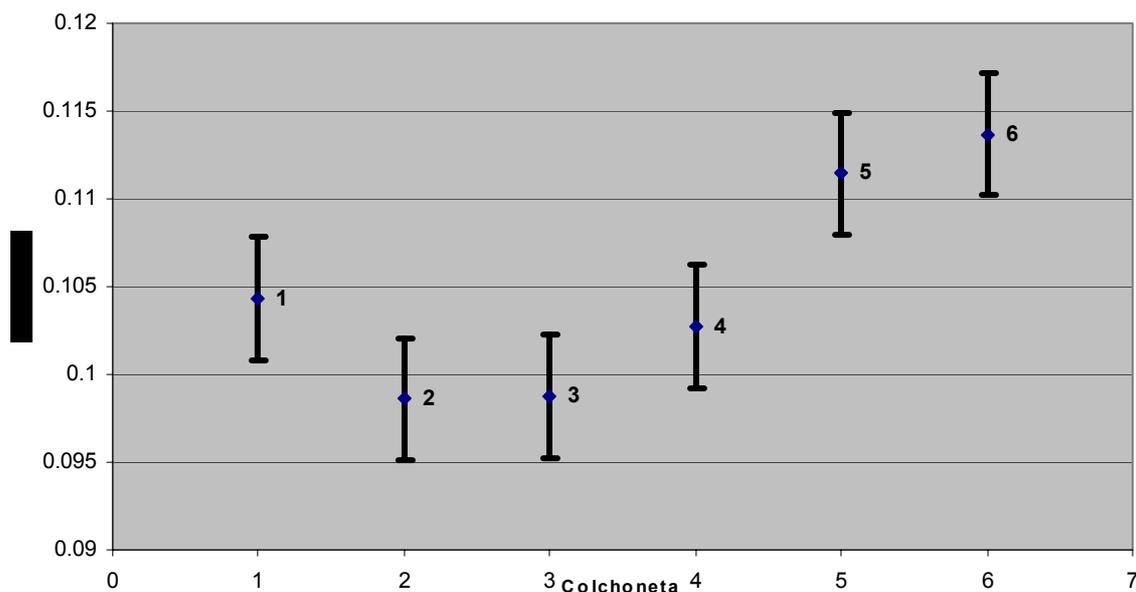
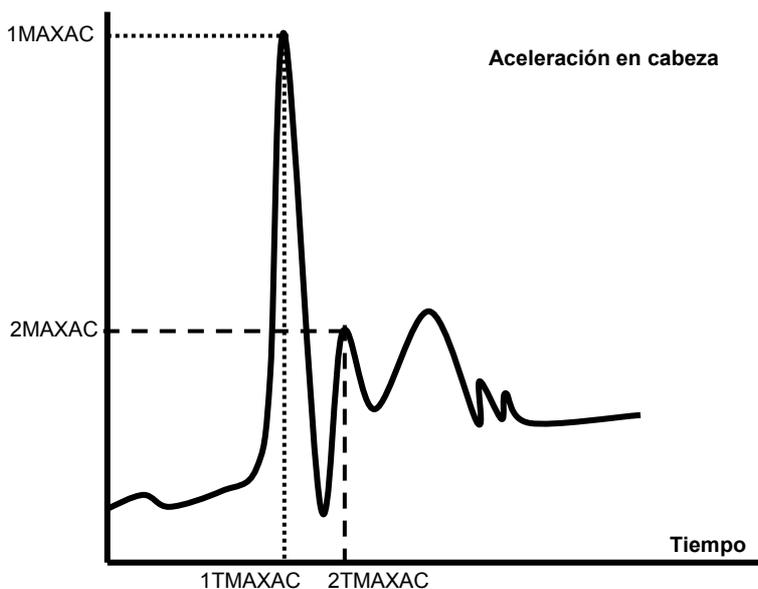


Gráfico 30.- Valores medios para el 2TMAXAT.

- **Aceleraciones medidas en la cabeza.**

Esta variable presentó una curva temporal similar, pero con valores inferiores a la aceleración en tibia (gráfica 31), con dos máximos claramente identificables. El primer máximo corresponde a la brusca deceleración ocasionada por el contacto del talón con la colchoneta, y el segundo impacto como consecuencia del contacto entre la cabeza de los metatarsianos y la colchoneta.



Gráfica 31.- Gráfica temporal de las aceleraciones medidas en la cabeza.

La parametrización de las curvas se realizó mediante un programa realizado con la aplicación Matlab. 6, y permitió obtener los siguientes parámetros de interés:

- 1MAXAC: Primer máximo de aceleración en cabeza, correspondiente al impacto del talón con la colchoneta.
- 2MAXAC: Segundo máximo de aceleración en cabeza, correspondiente a la llegada de la cabeza de los metatarsianos a la colchoneta.
- 1TMAXAC: Instante de tiempo para 1MAXAC.
- 2TMAXAC: Instante de tiempo para 2TMAXAC.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA), mostraron como entre las colchonetas existen algunas con diferencias significativas ($p < 0.05$) en las medias del primer máximo (1MAXAC) y segundo máximo (2MAXAC) de aceleración en cabeza (tabla 36 y gráficos 32, 33, 34 y 35).

Variable	COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TÍPICA	COEF.VARIACIÓN (%)	TIEMPOS
	C1	4.5	0.85	18.9	0.05
	C2	4.72	0.55	11.65	0.05
1MAXAC	C3	4.55	0.53	11.64	0.04
	C4	3.46	0.39	11.23	0.04
	C5	4	0.48	12.01	0.05
	C6	3.05	0.27	8.97	0.05
Variable	COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TÍPICA	COEF.VARIACIÓN (%)	TIEMPOS
	C1	3.4	0.78	22.92	0.12
	C2	3.79	0.5	13.12	0.12
2MAXAC	C3	3.31	0.5	15.16	0.11
	C4	3.38	0.38	11.11	0.11
	C5	2.85	0.6	20.87	0.13
	C6	3.12	0.39	12.36	0.14

Tabla 36.- Valores medios y tiempos para el primer y segundo máximo de aceleración en cabeza.

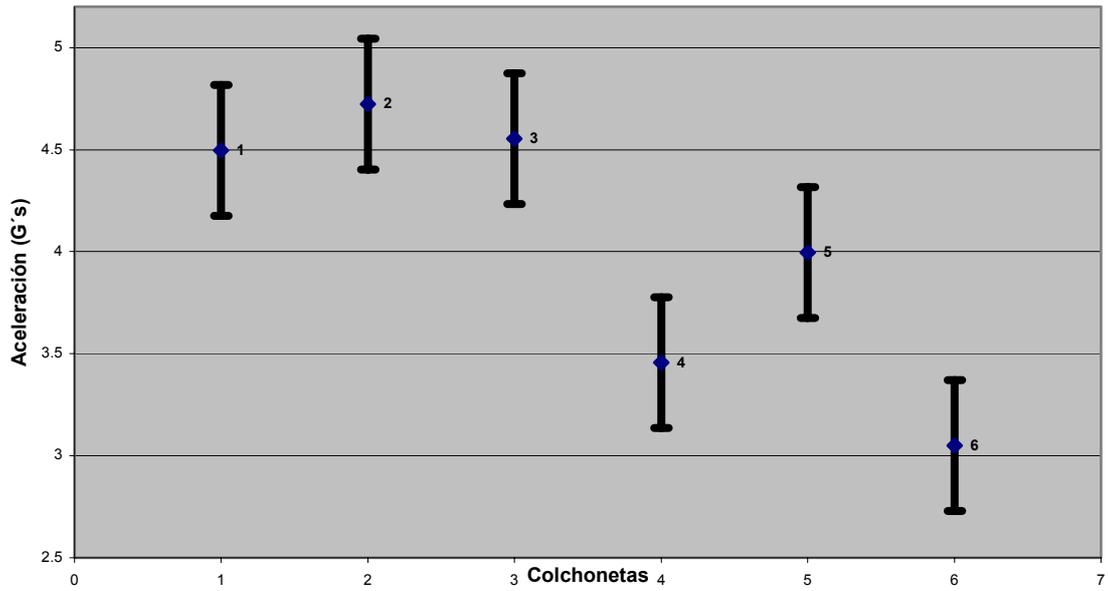


Gráfico 32.- Valores medios para 1MAXAC.

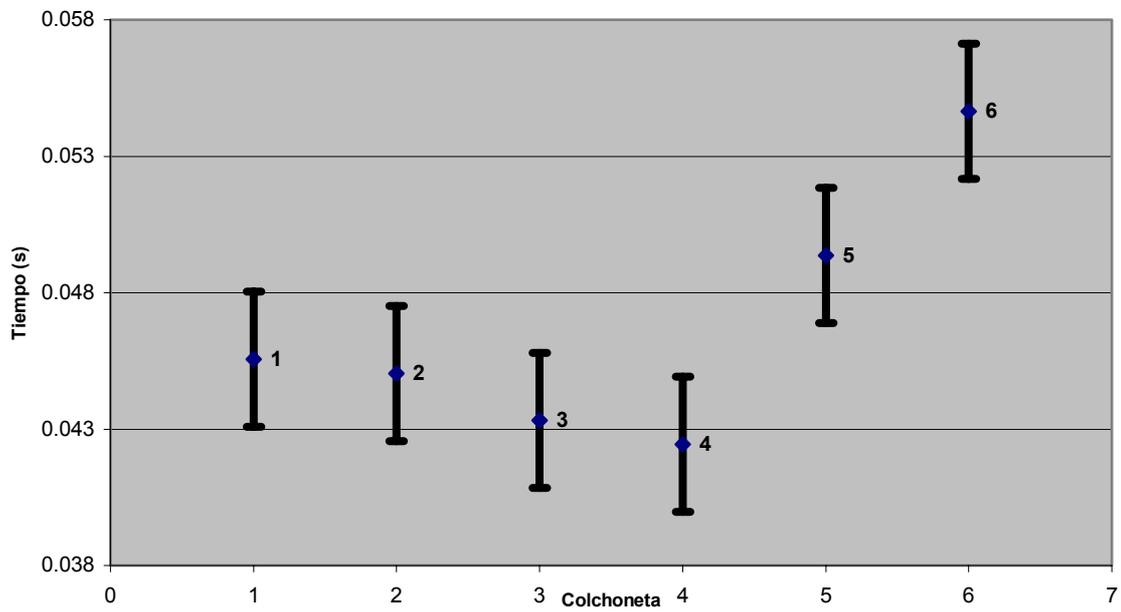


Gráfico 33.- Valores medios para 1TMAXAC.

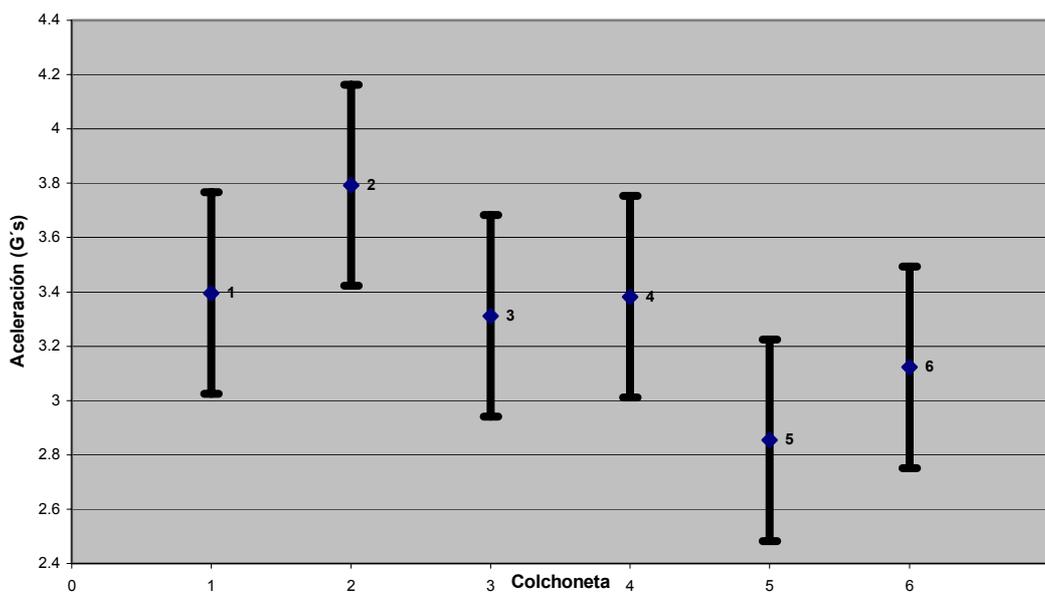


Gráfico 34.- Valores medios para 2MAXAC.

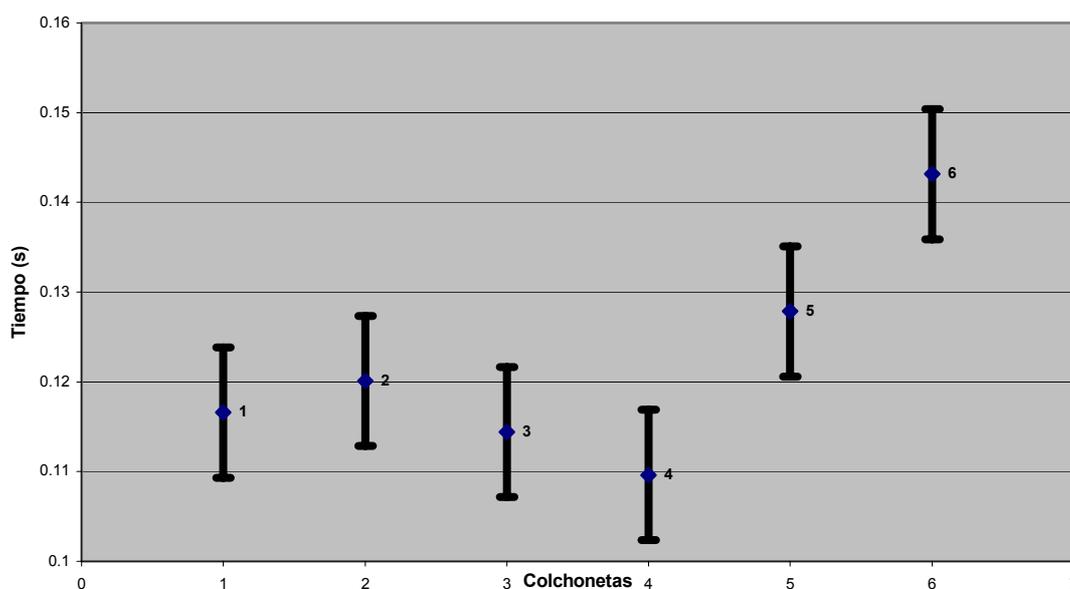
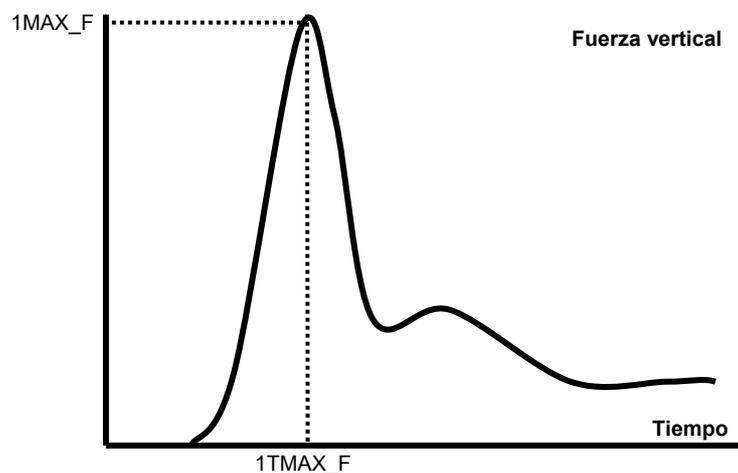


Gráfico 35.- Valores medios para 2TMAXAC.

Como se puede observar en las gráficas anteriores, las colchonetas C4, C5 y C6 muestran valores inferiores en 1MAXAC que las colchonetas C1, C2 y C3. Sin embargo, en cuanto al tiempo en este primer máximo, se observa como las colchonetas C5 y C6 obtienen los valores más elevados, mostrando diferencias significativas ($p < 0.05$) la colchoneta C6 con respecto al resto. En cuanto al 2MAXAC, se observa un similar comportamiento en las colchonetas (a excepción de las diferencias significativas en la colchoneta C2 y C5). Del mismo modo, el tiempo de este segundo máximo presenta un comportamiento similar al del primero, con diferencias significativas ($p < 0.05$) de la colchoneta C6 con respecto al resto de las colchonetas analizadas.

3.3.2.2.- Estudios de dinamometría.

La curva de la señal en la componente vertical de las fuerzas de reacción en función del tiempo, presentó un patrón típico con un sólo máximo correspondiente al impacto de la zona del talón con la colchoneta que se repitió en todas las recepciones (gráfica 36).



Gráfica 36.- Gráfica temporal de las fuerzas verticales de reacción en función del tiempo.

La parametrización de las curvas se realizó mediante un programa diseñado con la aplicación Matlab .6[®], que permitió obtener los siguientes parámetros de interés:

- 1MAX_F: Máximo de la componente vertical de las fuerzas de reacción del suelo.
- 1TMAX_F: Instante de tiempo para 1MAX_F.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostraron en algunas de las seis colchonetas de la muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en el máximo de la fuerza vertical (1MAX_F) y tiempo (1TMAX_F) (tabla 37) (los valores que se muestran se han normalizado con el peso de los gimnastas, expresados en veces el peso corporal de éstos) (gráfico 37 y 38). En este sentido, en cuanto a las diferencias en el máximo de la fuerza vertical destaca la C1 con diferencias significativas respecto al resto de colchonetas, la C2 y C3 con diferencias significativas en cuanto a las C4, C5 y C6, y la C4 con diferencias respecto a la C6.

COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TÍPICA	COEF.VARIACIÓN (%)	TIEMPOS
C1	4605.67	215.24	4.67	0.05
C2	4918.77	176.24	3.58	0.05
C3	4903.94	247.93	5.06	0.05
C4	4201.83	149.81	3.57	0.06
C5	4105.31	186.22	4.54	0.05
C6	3966.78	146.58	3.7	0.07

Tabla 37.- Valores medios y tiempos para el máximo de la componente vertical de las fuerzas de reacción.

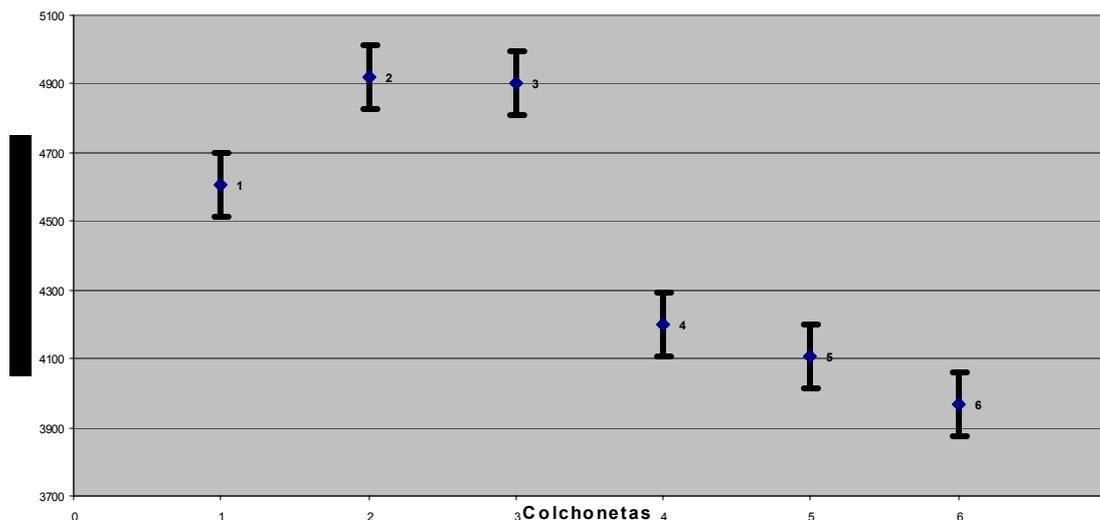


Gráfico 37.- Valores medios para el máximo de la componente vertical de las fuerzas de reacción.

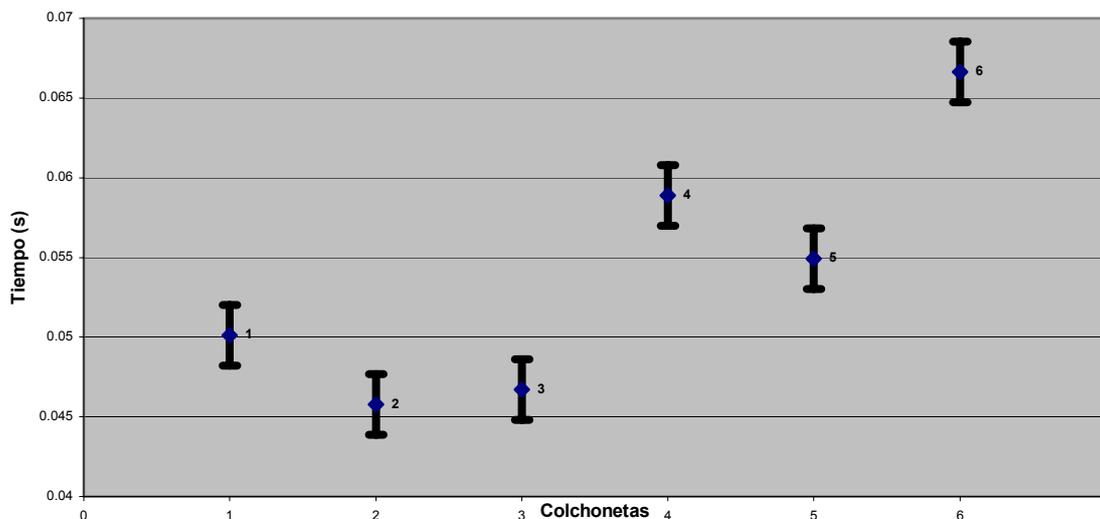
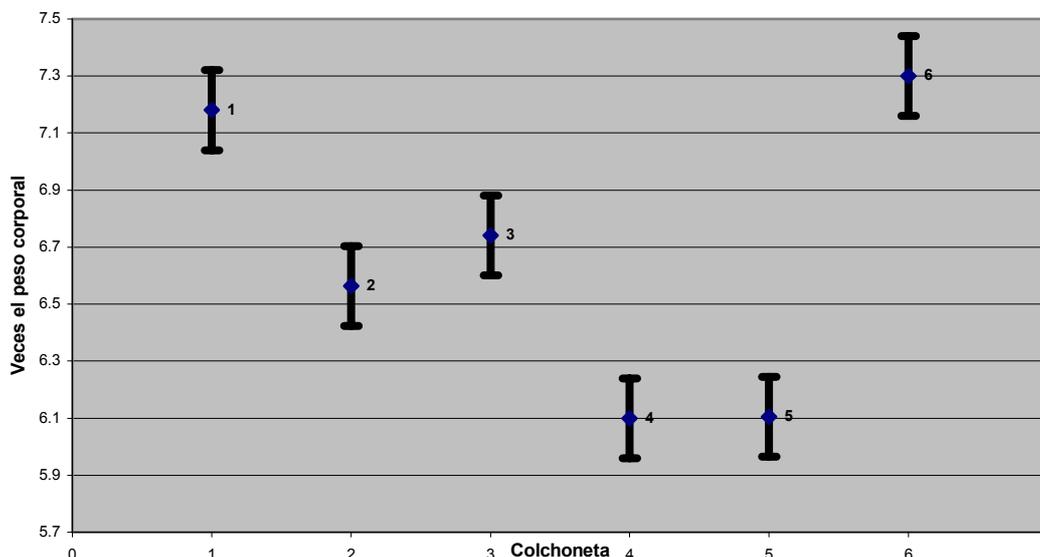


Gráfico 38.- Valores medios para tiempo del máximo de las fuerzas de reacción.

Tal y como se puede observar en las gráficas anteriores, existiría un grupo de colchonetas formado por la C1, C2, C3 que presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en cuanto a valores más altos en la componente vertical de las fuerzas de reacción, así como menores tiempos en la aparición de estos máximos.

La parametrización de la componente vertical de las fuerzas de reacción, permitió también determinar la magnitud del impacto en función de las veces que tenía que soportar el gimnasta su peso corporal (BW) durante la recepción. La gráfica 39 muestra las medias de las

veces el peso corporal que soporta el gimnasta en los distintos tipos de colchoneta analizados, observándose como la C1 y C6 muestran las magnitudes más elevadas (aproximadamente 7.1/7.3 BW, seguidas de la C2 y C3 (6.7/6.8 BW) y, finalmente, con las C4 y C5 (6.1BW).



Gráfica 39.- Media de las veces que soporta el gimnasta su peso en cada colchoneta.

- Grupos homogéneos en las variables de acelerometría y dinamometría.**

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones múltiples post hoc de las medias obtenidas asumiendo varianzas iguales (Bonferroni), mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre algunas de las colchonetas y las distintas variables de acelerometría y dinamometría analizadas, tal y como muestran los grupos homogéneos de la *tabla 38*.

	2MAXAT						1MAXAC					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1												
C2												
C3												
C4												
C5												
C6												
	2MAXAC						VECES EL PESO CORPORAL					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1												
C2												
C3												
C4												
C5												
C6												

Tabla 38.- Grupos homogéneos con diferencias significativas ($p < 0.05$) de la muestra de colchonetas en las variables de acelerometría y dinamometría.

3.3.2.3.- Coeficiente de transmisión de impactos.

La transmisión del impacto a lo largo del sistema músculo-esquelético se puede valorar a partir de los parámetros de aceleración obtenidos en tibia y cabeza, así como los parámetros de tiempo y fuerzas sobre la plataforma dinamométrica. En este sentido, se analizaron dos tipos de coeficientes:

- Coeficientes de transmisión de las fuerzas de impacto a tibia y cabeza.
 - Coeficiente de transmisión de la aceleración de la tibia a la cabeza.
- **Coeficiente de transmisión de las fuerzas de impacto a la tibia.**

Se originaron 2 máximos registrados en la curva aceleración/tiempo debido a la llegada del talón y el antepié, así como un máximo destacado en la curva fuerza vertical/tiempo. Dado que para el estudio se utilizó el segundo máximo en tibia, los resultados del coeficiente de transmisión de impactos obtenidos fueron:

- $2MAXAT / 1MAX_F$: Coeficiente de transmisión de las fuerzas de reacción del suelo a la tibia, correspondientes al impacto entre el antepié y la colchoneta.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las medias de la colchoneta C6 respecto al resto de colchonetas, tal y como se observa en la tabla 39 y el gráfico 40.

COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TÍPICA	COEF.VARIACIÓN (%)
C1	0.0032	0.0002	6.2676
C2	0.0032	0.0002	5.7821
C3	0.0032	0.0003	10.6138
C4	0.0034	0.0002	6.5546
C5	0.0033	0.0002	6.2854
C6	0.0029	0.0002	7.0641

Tabla 39.- Valores medios para los coeficientes de transmisión de las fuerzas de impacto en tibia.

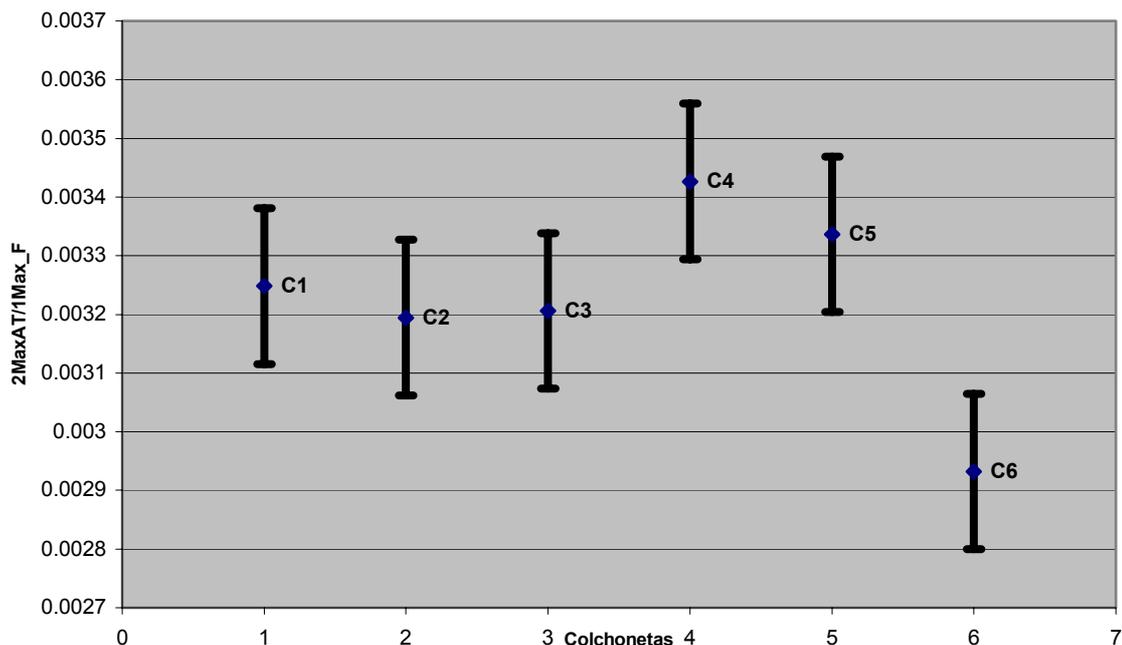


Gráfico 40.- Valores medios para coeficientes de transmisión de las fuerzas de impacto en tibia.

- **Coefficiente de transmisión de las fuerzas de impacto a la cabeza.**

Se calcularon de similar manera a los coeficientes de transmisión efectuados en la tibia, los coeficientes de transmisión sobre el primer máximo de aceleración en cabeza y el máximo de fuerza vertical. Los resultados obtenidos fueron:

- 1MAXAC / 1MAX_F: Coeficiente de transmisión de las fuerzas de reacción del suelo a la cabeza, correspondientes al impacto del talón y la colchoneta

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre algunas colchonetas analizadas, tal y como se observa en la tabla 40 y el gráfico.- 41. En este sentido, se observan diferencias significativas entre la C4 y las C1, C2, C5, la C5 y las C4, C6, así como la C6 con diferencias significativas con todas, a excepción de la C4.

COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TIPICA	COEF.VARIACIÓN (%)
C1	0.0010	0.0002	16.76
C2	0.0010	0.0001	10.09
C3	0.0009	0.0001	8.42
C4	0.0008	0.0001	9.59
C5	0.0010	0.0001	7.51
C6	0.0008	0.0001	7.65

Tabla 40.- Valores medios para los coeficientes de transmisión de las fuerzas de impacto en cabeza.

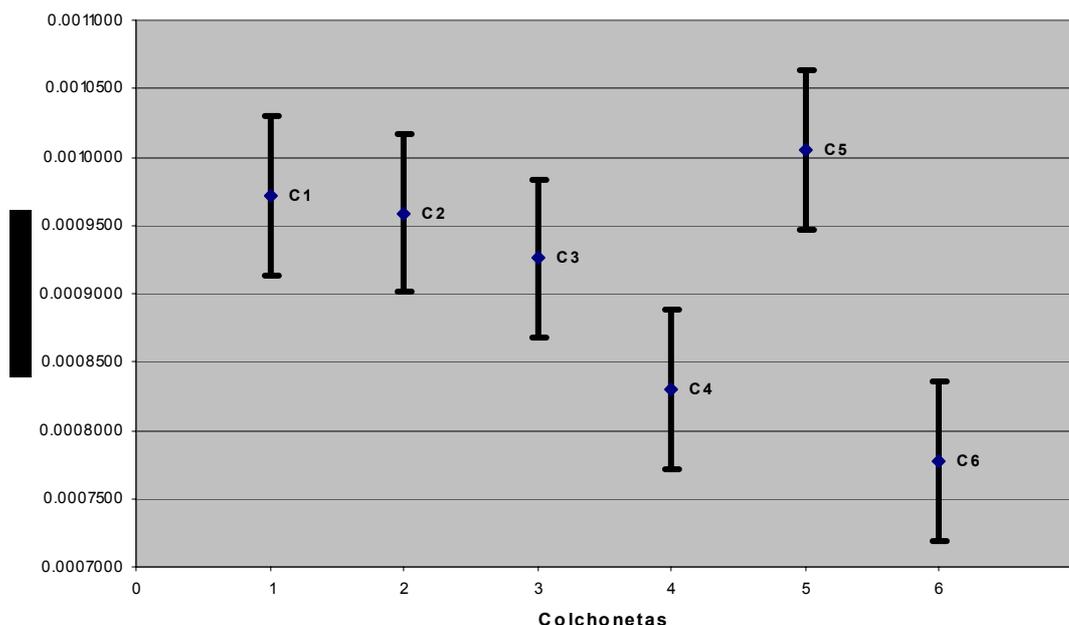


Gráfico 41.- Valores medios para coeficientes de transmisión de las fuerzas de impacto en cabeza.

- **Coefficiente de transmisión de las aceleraciones de la tibia a la cabeza.**

La transmisión de las aceleraciones de la tibia a la cabeza permite valorar la transmisión de las bruscas deceleraciones originadas como consecuencia de los impactos en la colchoneta del antepié y talón, desde un segmento proximal a la colchoneta, como es la tibia hasta un segmento distal como es la cabeza.

- $1MAXAC/2MAXAT$: Coeficiente de transmisión de la aceleración de la tibia a la cabeza, correspondiente al impacto entre el talón y la colchoneta.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre algunas colchonetas analizadas, tal y como se observa en la tabla 41 y el gráfico 42. En este sentido, se observan diferencias estadísticas entre la C2 y C4 y la C4-C5.

COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TIPICA	COEF.VARIACIÓN (%)
C1	0.32	0.06	19.73
C2	0.33	0.04	13.53
C3	0.30	0.03	10.51
C4	0.27	0.03	10.54
C5	0.34	0.03	9.45
C6	0.30	0.03	11.79

Tabla 41.- Valores medios para los coeficientes de transmisión de aceleración de tibia a cabeza.

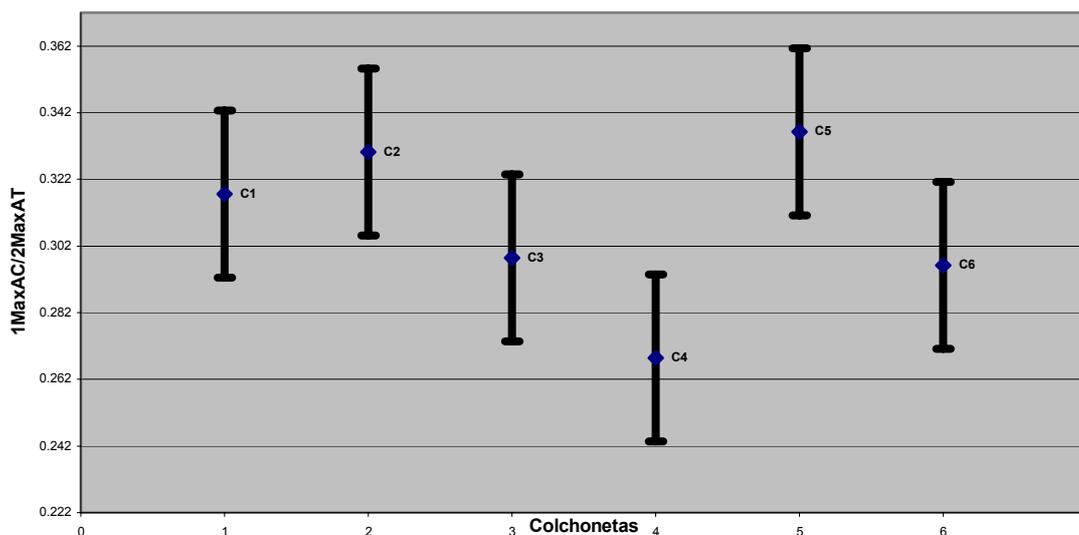


Gráfico 42.- Valores medios para los coeficientes de transmisión de aceleración de tibia a cabeza.

- **Grupos homogéneos obtenidos en los coeficientes de transmisión.**

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones múltiples post hoc de las medias obtenidas asumiendo varianzas iguales (Bonferroni), mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre algunas de las colchonetas y los distintos coeficientes de transmisión analizados, tal y como muestra la tabla 42.

	2MAXAT / 1MAX_F						1MAXAC / 1MAX_F						1MAXAC / 2MAXAT					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1																		
C2																		
C3																		
C4																		
C5																		
C6																		

Tabla 42.- Grupos homogéneos con diferencias significativas ($p < 0.05$) en los distintos coeficientes de transmisión analizados.

3.3.2.4.- Análisis factorial de las componentes principales.

La realización del análisis factorial permitió, primero identificar y después reducir, a un número menor de factores que explique la mayoría de la varianza observada. Los parámetros empleados para el análisis de reducción de datos fueron los obtenidos en el estudio de acelerometría y dinamometría.

Las comunalidades (tabla 43), obtenidas mediante el método de extracción de análisis de componentes principales, nunca fueron menores que 0.7.

	Inicial	Extracción
2TMAXT	1.000	.861
2MAXAT	1.000	.717
1TMAXAC	1.000	.863
1MAXAC	1.000	.954
2TMAXAC	1.000	.846
2MAXAC	1.000	.835
1TMAX_F	1.000	.885
F/PESO	1.000	.821

Tabla 43.- Análisis factorial: comunalidades acelerometría y dinamometría.

Los componentes principales obtenidos mediante el método de rotación Varimax (tabla 44) han permitido extraer 4 componentes que explican el 84.778 % de la varianza total explicada.

	Componentes			
	1	2	3	4
2TMAXT	.915			
1TMAX_F	.837			
2MAXAC		-.906		
2TMAXAC	.608	.683		
1TMAXAC	.615	.673		
F/PESO			.885	
2MAXAT		-.436	-.702	
1MAXAC				.970
% Varianza Explicada	29.039	24.975	16.462	14.303

Tabla 44.- Matriz de componentes rotados y varianza explicada por cada componente.

Como se observa en la tabla anterior, existen dos componentes con un alto porcentaje de la varianza total: 29.039% en la componente nº 1 y 24.975% en la componente nº 2.

Los parámetros de acelerometría y dinamometría quedarían, por tanto, explicados empleando 4 factores de agrupación, siendo:

- *Factor 1. TIEMPOS:* tiempos de acelerometría y dinamometría (2TMAXT, 1TMAX_F, 2TMAXAC y 1TMAXAC). Expresaría la rapidez de la recepción.
- *Factor 2. 2MAXAC + Tiempos en cabeza:* con valores negativos para el segundo máximo en cabeza y tibia, y positivos para los tiempos en cabeza.
- *Factor 3. VECES PESO CORPORAL:* Con valores positivos para la F/Peso y negativos para el 2MAXAT.
- *Factor 4. 1MAXAC:* Primer máximo de aceleración en cabeza (1MAXAC).

3.3.3.- Estudios de Electrogoniometría.

Finalmente, y dentro de las variables cinemáticas de interés, mediante la utilización de electrogoniómetros se analizaron los rangos de movimiento de las articulaciones del miembro inferior durante la recepción. El “*drop jump*” utilizado en el estudio (ver pág. 78, diseño de experiencias-estudios biomecánicos) puede dividirse en tres fases o periodos desde la salida del gimnasta de la plataforma hasta el contacto y equilibrio sobre la colchoneta (figura 26):

- 1.- Fase de salida-vuelo.
- 2.- Fase de impacto-estabilización.
- 3.- Fase final de la recepción.

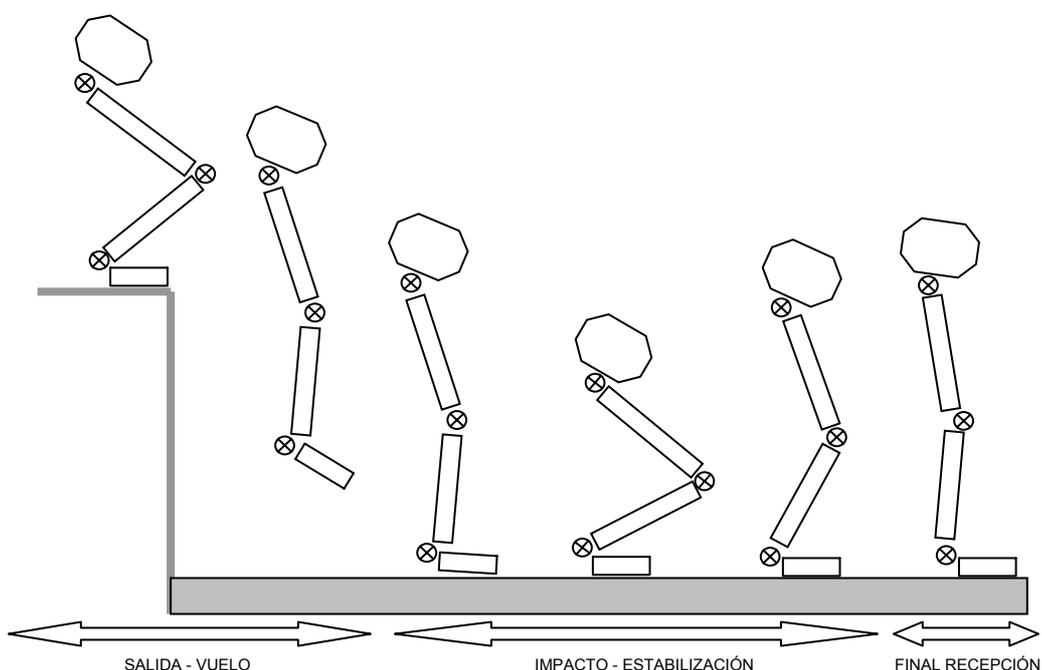


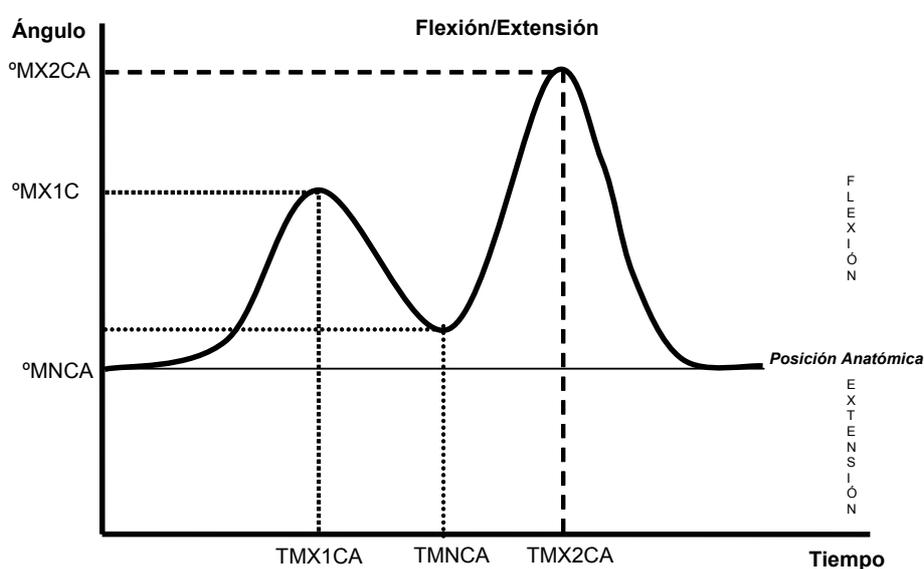
Figura 26.- Esquema gráfico de las fases durante la recepción.

Se presentan, a continuación, los resultados obtenidos para las articulaciones analizadas (cadera, rodilla, tobillo y subastragalina) en las tres fases descritas.

3.3.3.1.- Cadera (articulación coxo-femoral).

La gráfica de flexión/extensión de esta articulación presenta una curva con dos máximos correspondientes a la acción de flexión en la fase 1 ($^{\circ}\text{MX1CA}$) y fase 2 ($^{\circ}\text{MX2CA}$), y un mínimo en la fase 2 ($^{\circ}\text{MNCA}$) correspondiente a la extensión antes del contacto con la colchoneta, siendo los parámetros analizados los siguientes (gráfica 43 y figura 27):

- Parámetros angulares:
 - °MX1CA: primer máximo de flexión e inicio de la extensión de cadera en el instante final de contacto del pie sobre la plataforma de salto.
 - °MNCA: máximo de extensión e inicio de flexión de cadera correspondiente con el instante de contacto del pie con la colchoneta.
 - °MX2CA: segundo máximo de flexión correspondiente a la flexión máxima tras el contacto del pie con la colchoneta.
- Parámetros temporales:
 - TMX1CA: tiempo del primer máximo de flexión de cadera.
 - TMNCA: tiempo del máximo de extensión de cadera.
 - TMX2CA: tiempo del segundo máximo de flexión de cadera.



Gráfica 43.- Gráfica temporal de la flexo/extensión de cadera.

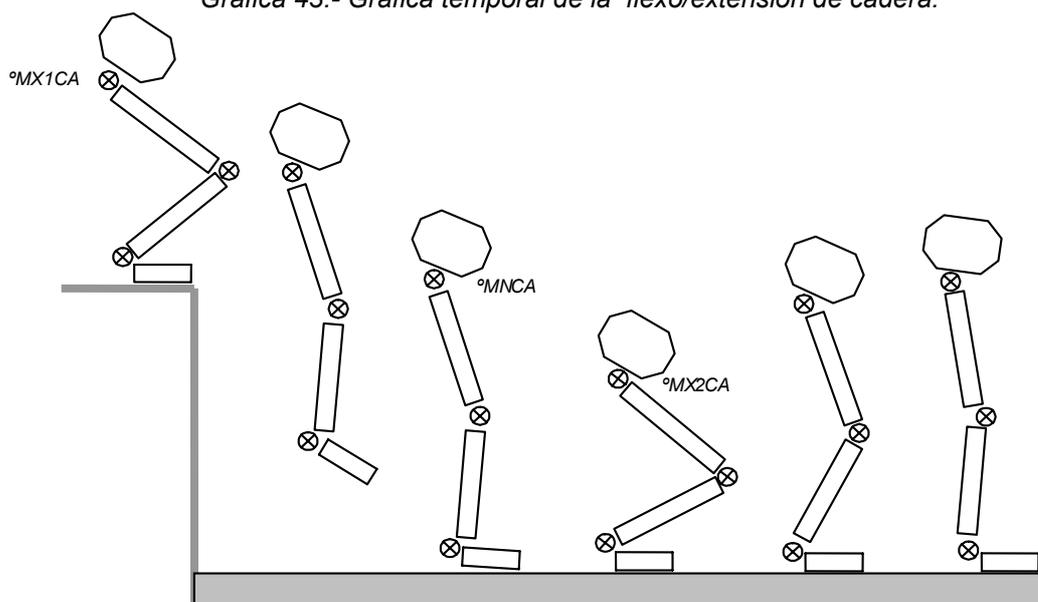
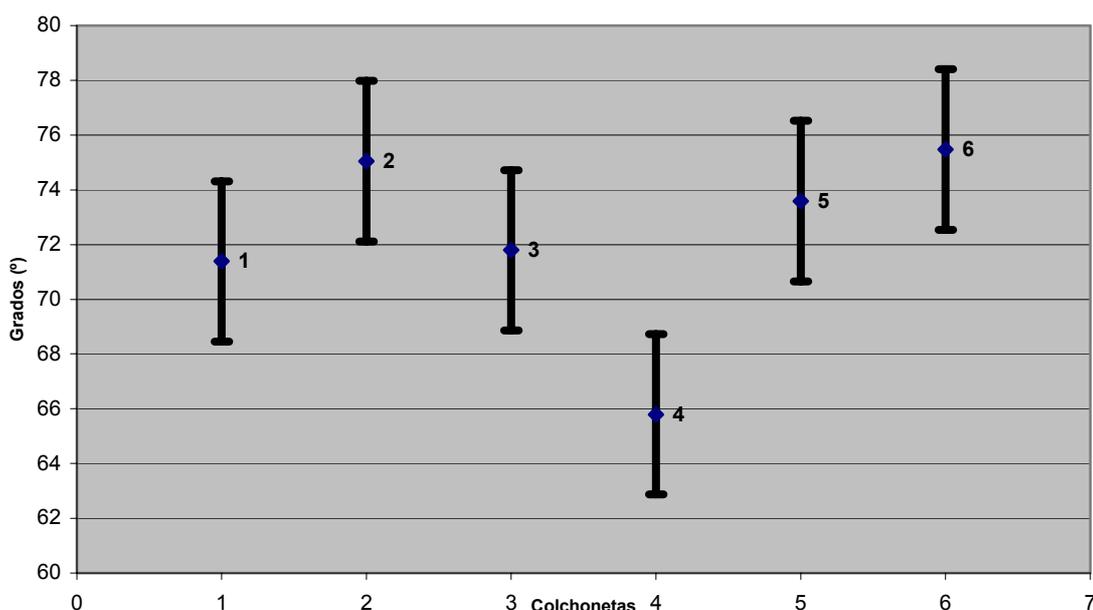


Figura 27.- Parámetros analizados en la articulación coxo-femoral (cadera).

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en las medias de la variable flexo-extensión de cadera (tabla 45), a excepción del parámetro °MX2CA (gráfica 44) donde la colchoneta C4 muestra diferencias estadísticamente significativas con el resto de colchonetas, siendo su valor medio 65.8 ± 6.06 grados.

	COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TIPICA	TIEMPOS
°MX1CA	C1	45.14	3.33	0.08
	C2	45.96	5.73	0.1
	C3	44.77	5.95	0.14
	C4	42.95	4.75	0.07
	C5	45.1	5.28	0.09
	C6	48.65	6.87	0.15
°MX2CA	C1	71.38	5.92	0.75
	C2	75.04	5.13	0.8
	C3	71.79	4.77	0.77
	C4	65.8	6.06	0.83
	C5	73.59	5.45	0.85
	C6	75.47	7.2	0.86
°MNCA	C1	16.73	2.93	0.55
	C2	15.29	5.74	0.53
	C3	17.69	5.43	0.57
	C4	15.87	2.73	0.53
	C5	16.56	4.83	0.58
	C6	13.04	4.28	0.57

Tabla 45.- Valores medios y tiempos para la variable flexo-extensión cadera.



Gráfica 44.- Valores medios de °MX2CA.

3.3.3.2.- Articulación de la rodilla.

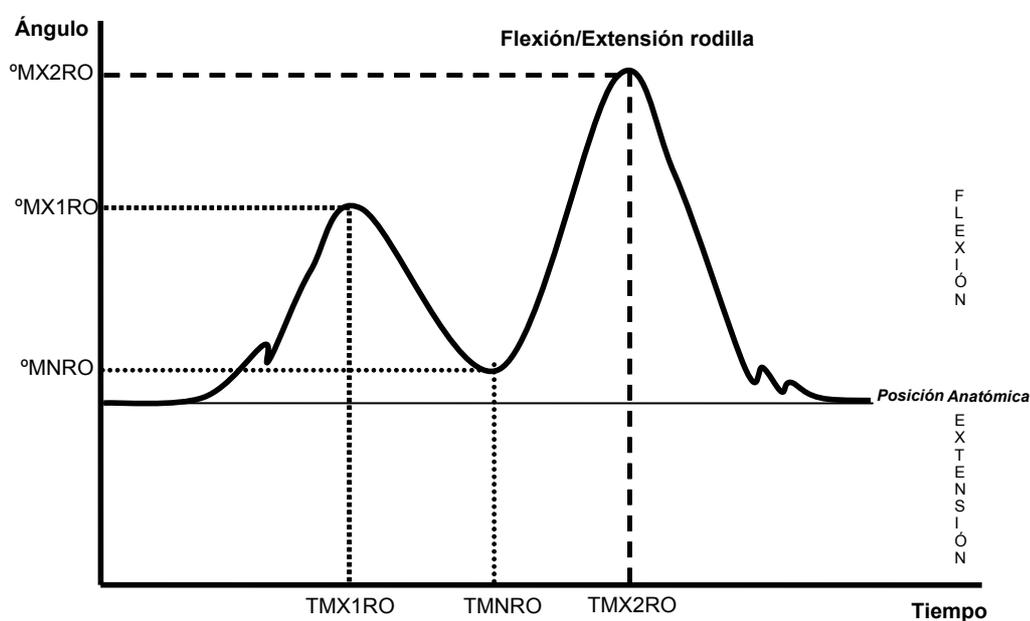
La gráfica de la variable flexo/extensión de rodilla presenta una curva con 2 máximos correspondientes a la acción de flexión en la fase 1 ($^{\circ}\text{MX1RO}$) y fase 2 ($^{\circ}\text{MX2RO}$), y un mínimo ($^{\circ}\text{MNRO}$) en la fase 2 en el instante de contacto con la colchoneta, siendo los parámetros analizados los siguientes (gráfica 45 y figura 28):

▪ Parámetros angulares:

- $^{\circ}\text{MX1RO}$: primer máximo de flexión de rodilla en el instante de abandono del contacto final de contacto del pie sobre la plataforma de salto.
- $^{\circ}\text{MNRO}$: mínimo de flexión de rodilla correspondiente con el instante de contacto del pie con la colchoneta.
- $^{\circ}\text{MX2RO}$: segundo máximo de flexión correspondiente a la flexión máxima tras el contacto del pie con la colchoneta.

▪ Parámetros temporales:

- TMX1RO : tiempo del primer máximo de flexión de rodilla.
- TMNRO : tiempo del mínimo de flexión de rodilla.
- TMX2RO : tiempo del segundo máximo de flexión de rodilla.



Gráfica 45.- Gráfica temporal flexo/extensión de rodilla.

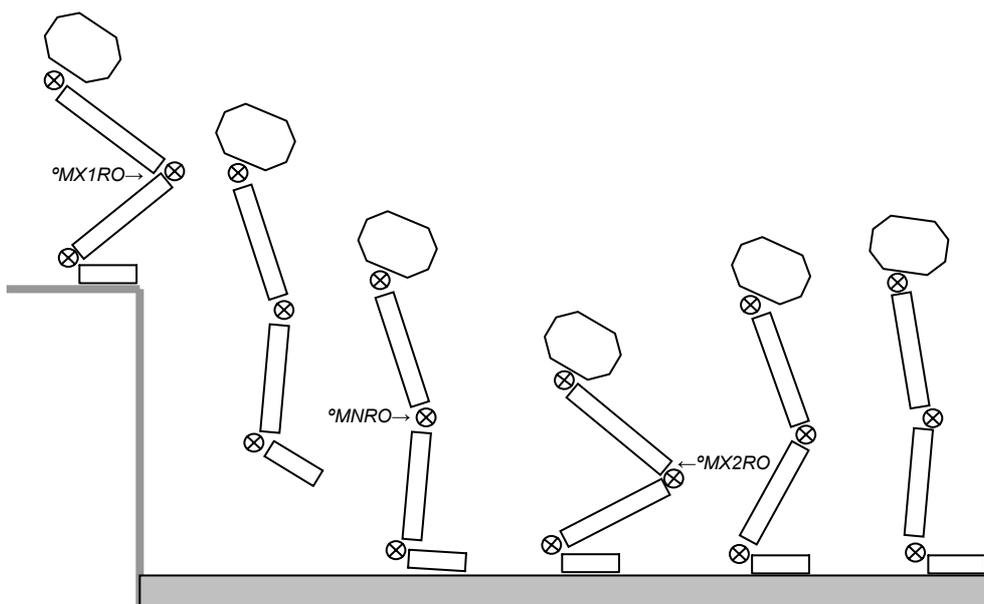


Figura 28.- Parámetros analizados en la articulación de la rodilla.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostraron, tal y como se observa en las tablas 46 y 47, algunos parámetros con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en los valores medios de la variable flexo/extensión de rodilla. Los gráficos 46, 47 y 48 muestran los valores medios de cada uno de los parámetros analizados en la variable flexo/extensión de rodilla.

	COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TIPICA	TIEMPOS
°MX1RO	C1	47.51	4.84	0.34
	C2	49.29	7.85	0.39
	C3	43.67	2.91	0.46
	C4	47.54	2.9	0.47
	C5	49.02	4.04	0.42
	C6	52.61	11.1	0.49
°MX2RO	C1	89.15	5.07	0.72
	C2	80.48	5.97	0.71
	C3	84.65	5.53	0.7
	C4	85.34	4.15	0.74
	C5	90.27	6.23	0.72
	C6	92.54	10.76	0.73
°MNRO	C1	5.9	7.37	0.6
	C2	10.4	5.88	0.62
	C3	14.42	2.12	0.67
	C4	6.24	3.43	0.62
	C5	1.97	7.65	0.64
	C6	6.16	8.66	0.58

Tabla 46.- Valores medios y tiempos para la variable flexo/extensión rodilla.

PARÁMETROS	Colchonetas con diferencias significativa ($p < 0.05$)
°MX1RO	C3:C6
°MX2RO	C1:C2 – C2:C1,C5,C6 – C4:C6 – C5:C2 – C6: C2,C3,C4
MNRO	C1:C3 – C2:C5 – C5:C2,C3

Tabla 47.- Parámetros con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la variable flexo/extensión de rodilla.

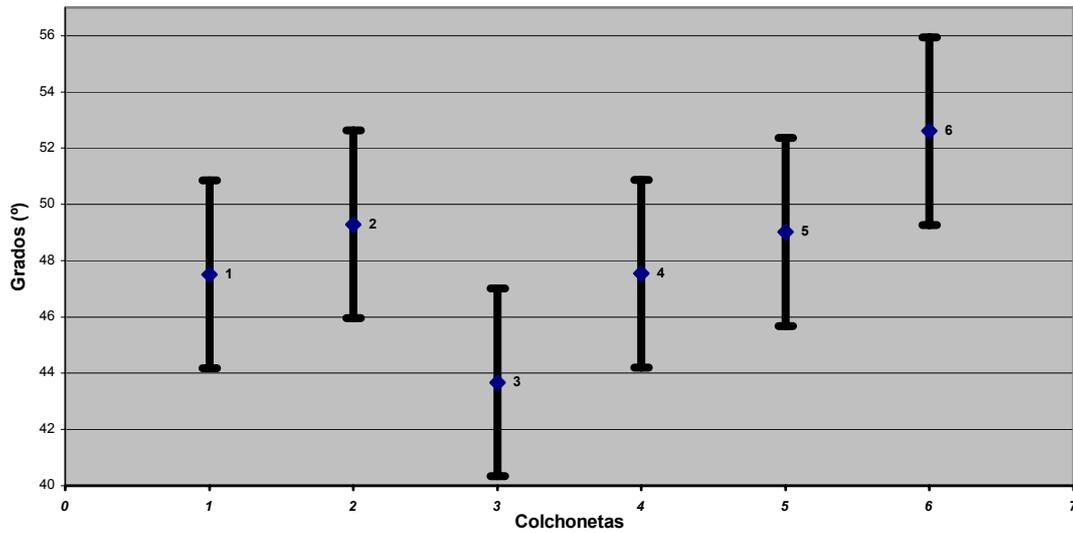


Gráfico 46.- Valores medios para °MX1RO.

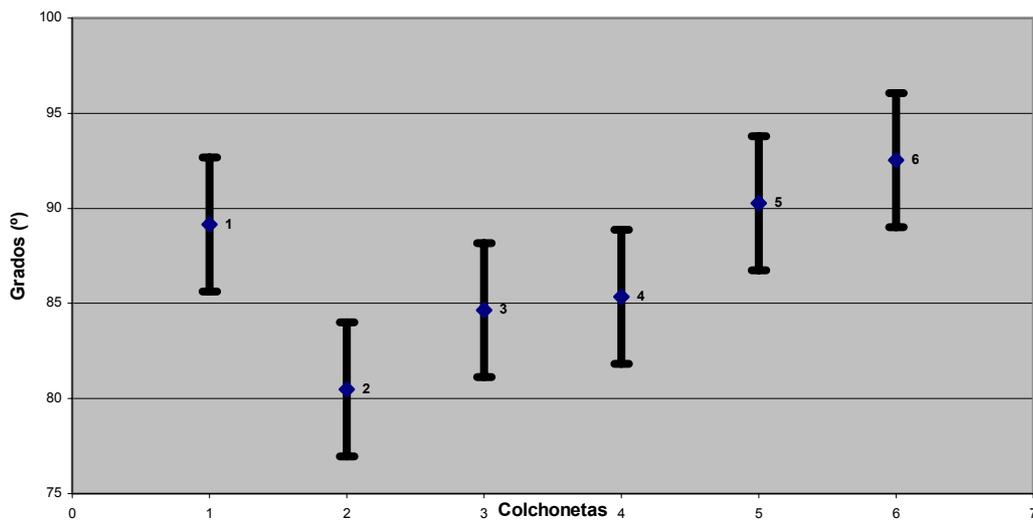


Gráfico 47.- Valores medios para °MX2RO.

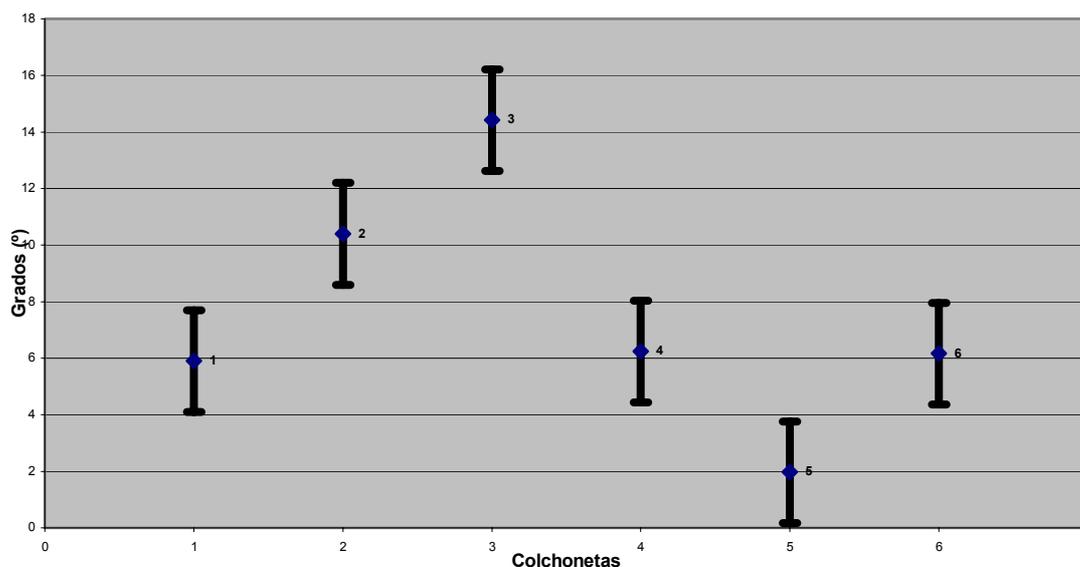


Gráfico 48.- Valores medios para °MNRO.

3.3.3.3.- Complejo articular tobillo-subastragalina.

Se analizaron dos tipos de movimiento:

- A.- Movimiento del Flexo / Extensión en la articulación del tobillo.
- B.- Movimiento de Prono / Supinación en la articulación subastragalina.

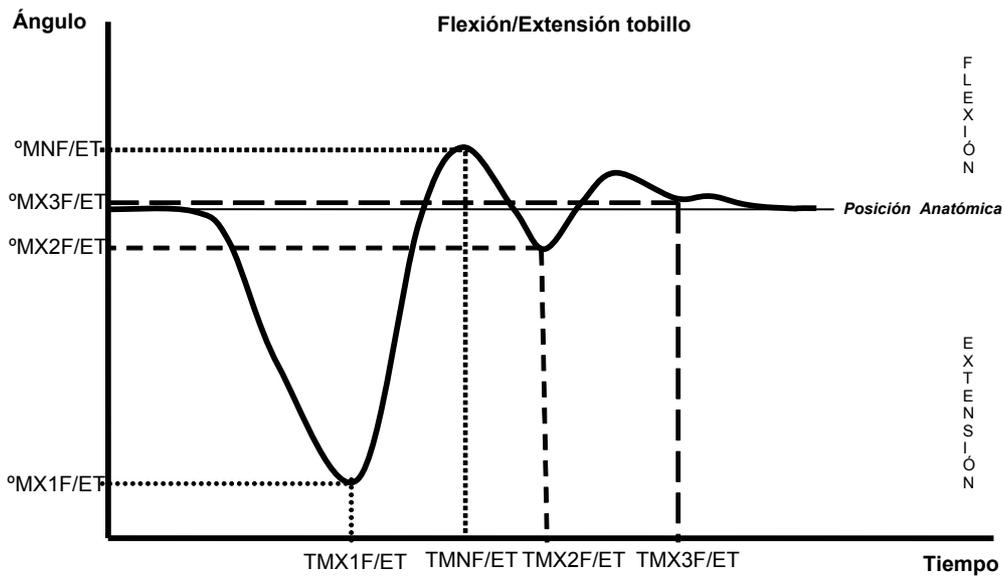
A) Movimiento de flexo/extensión del tobillo (articulación tibio-tarsiana).

El movimiento de flexo/extensión del tobillo presenta una curva con 3 máximos (gráfica 49) correspondientes a la acción de extensión en la fase 1 (°MX1F/ET), fase 2 (°MX2F/ET) y fase 3 (°MX3F/ET) respectivamente, y un mínimo (°MNF/ET) en la fase 2 correspondiente a la flexión, siendo los parámetros analizados los siguientes (figura 29):

- Parámetros angulares:
 - °MX1F/ET: Primer máximo de extensión durante la fase de vuelo.
 - °MNF/ET: Máximo de flexión e inicio de extensión de tobillo correspondiente con el instante de contacto del pie con la colchoneta.
 - °MX2F/ET: Segundo máximo de extensión, correspondiente a la extensión máxima tras el contacto del pie con la colchoneta.
 - °MX3F/ET: Tercer máximo de extensión, posiblemente debido a la adaptación del pie sobre la colchoneta.

Parámetros temporales:

- TMX1F/ET: Tiempo del primer máximo de extensión de tobillo.
- TMNF/ET: Tiempo del máximo de flexión de tobillo.
- TMX2F/ET: Tiempo del segundo máximo de extensión de tobillo.
- TMX3F/ET: Tiempo del tercer máximo de extensión de tobillo.



Gráfica 49.- Gráfica temporal flexo/extensión de tobillo.

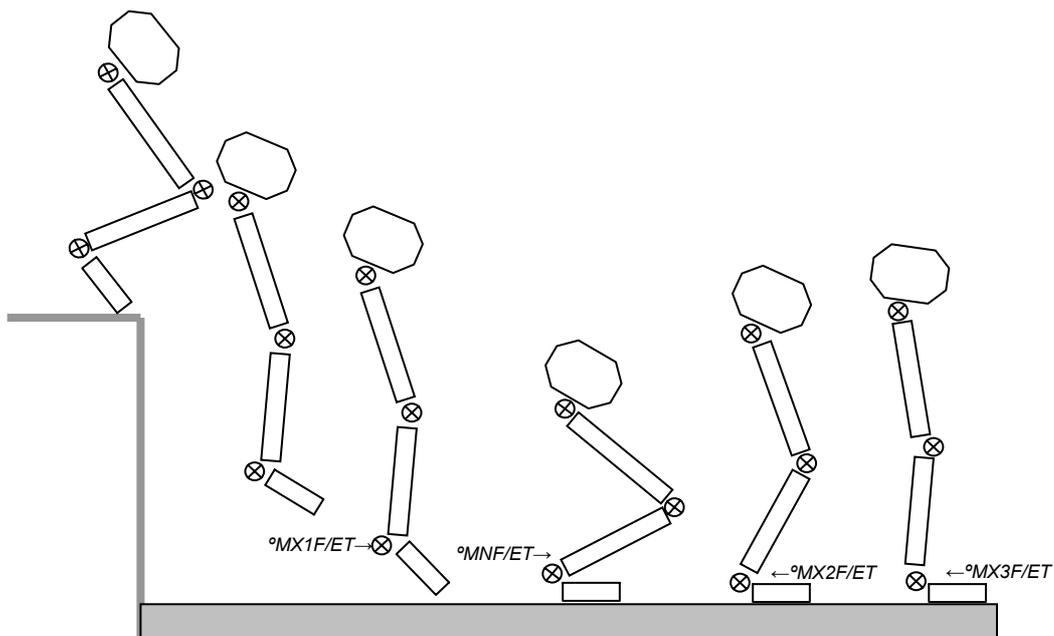


Figura 29.- Parámetros analizados en el movimiento de Flexo/Extensión del tobillo.

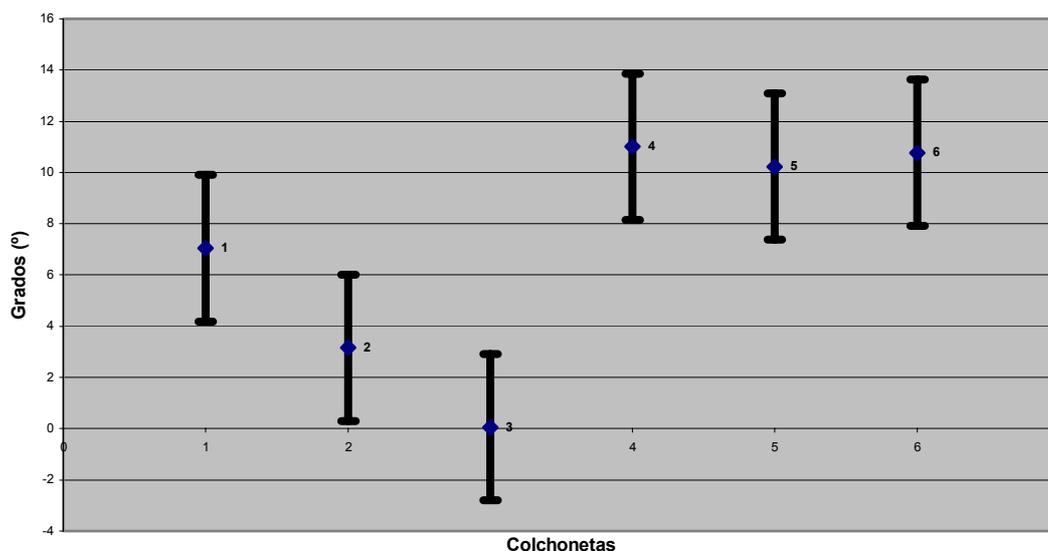
La tabla 48 muestran los valores medios de cada uno de los parámetros analizados en la variable flexo/extensión de tobillo, mostrando los resultados del análisis de varianza (ANOVA) diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) únicamente en °MNF/ET (tabla 49 y gráfico 50).

	COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TÍPICA	TIEMPOS
°MX1F/ET	C1	-39	3.44	0.05
	C2	-38.92	4.2	0.06
	C3	-40.05	2.98	0.05
	C4	-39.53	2.21	0.05
	C5	-38.89	1.88	0.05
	C6	-40.08	3.3	0.06
°MX2F/ET	C1	-6.57	9.47	0.1
	C2	-1.9	16.94	0.1
	C3	-9.4	5.73	0.1
	C4	-9.07	9.17	0.1
	C5	-9.69	7.78	0.1
	C6	-4.28	13.81	0.1
°MX3F/ET	C1	-0.64	3.87	0.17
	C2	-0.07	3.01	0.17
	C3	-1.36	2.15	0.17
	C4	1.02	2.08	0.17
	C5	0.71	4.14	0.17
	C6	-1.17	3.32	0.17
°MNF/ET	C1	7.05	5.29	0.06
	C2	3.16	6.2	0.07
	C3	0.06	5.91	0.07
	C4	11.01	6.38	0.06
	C5	10.23	5.65	0.07
	C6	10.77	4.87	0.06

Tabla 48.- Valores medios y tiempos para la variable flexo/extensión tobillo.

PARÁMETRO	Colchonetas con diferencia significativa ($p < 0.05$)
°MNF/ET	C1:C3 – C2 :C4, C5, C6 – C3 :C1, C4, C5, C6 – C4 : C2, C3 – C5 : C2,C3 – C6 : C2,C3

Tabla 49.- Diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en el parámetro °MNF/ET de la variable flexo/extensión de tobillo.



Gráficas 50.- Valores medios de °MNF/ET.

Como se puede observar en la gráfica anterior, se destaca una clara diferencia entre dos grupos de colchonetas, al igual que en algunas zonas de los estudios de presurometría (anexo 3) y dinamometría (pág. 133). Además, destacar que el comportamiento mecánico de estas colchonetas también fue diferente (tabla 28, pág. 117), así el primer grupo, formado por C1, C2 y C3 son colchonetas con mayores magnitudes en la deceleración y menor deformación en los ensayos mecánicos realizados, al contrario de lo que ocurre en el grupo de colchonetas C4, C5 y C6.

B) Movimiento de Prono/Supinación de la articulación subastragalina.

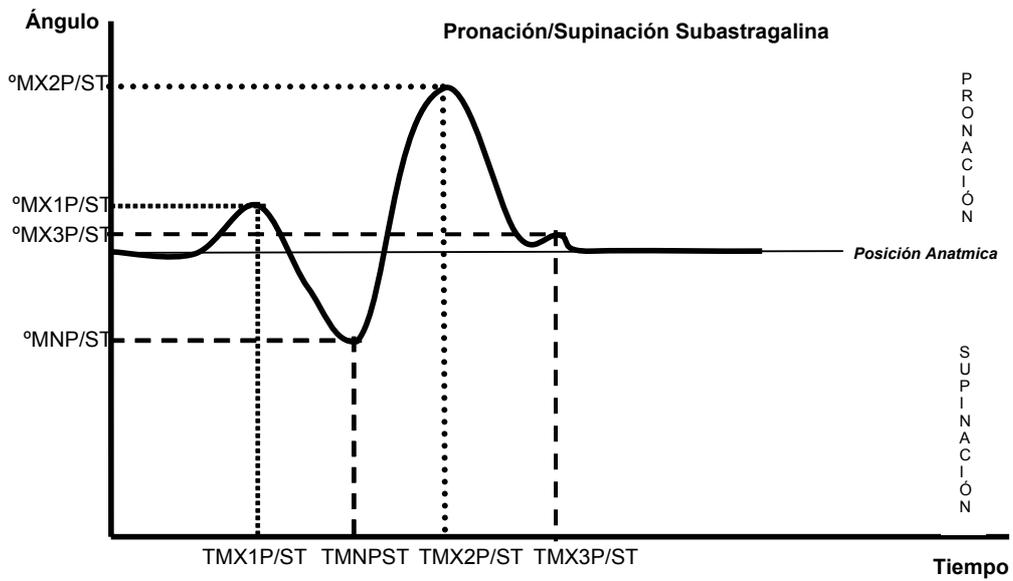
El movimiento de prono-supinación de la subastragalina presenta una curva con 3 máximos (gráfica 51) correspondientes al movimiento de pronación en la fase 1 (°MX1P/ST), en la fase 2 (°MX2P/ST) y en la fase 3 (°MX3P/ST), y un mínimo en la fase 2 (°MNP/ST) correspondiente al movimiento de supinación, siendo los parámetros analizados los siguientes (figura 30):

▪ Parámetros angulares:

- °MX1P/ST: Primer máximo de pronación e inicio de la supinación antes de la fase de vuelo.
- °MNP/ST: Máximo de supinación e inicio de pronación, correspondiente con el instante de contacto del pie con la colchoneta.
- °MX2P/ST: Segundo máximo de pronación, correspondiente a la pronación máxima tras el contacto del pie con la colchoneta.
- °MX3P/ST: Tercer máximo de pronación, posiblemente debido a la adaptación del pie sobre la colchoneta durante la estabilización.

▪ Parámetros temporales:

- TMX1P/ST: Tiempo del primer máximo de pronación.
- TMNP/ST: Tiempo del máximo de supinación.
- TMX2P/ST: Tiempo del segundo máximo de pronación.
- TMX3P/ST: Tiempo del tercer máximo de pronación.



Gráfica 51.- Gráfica temporal prono/supinación subastragalina.

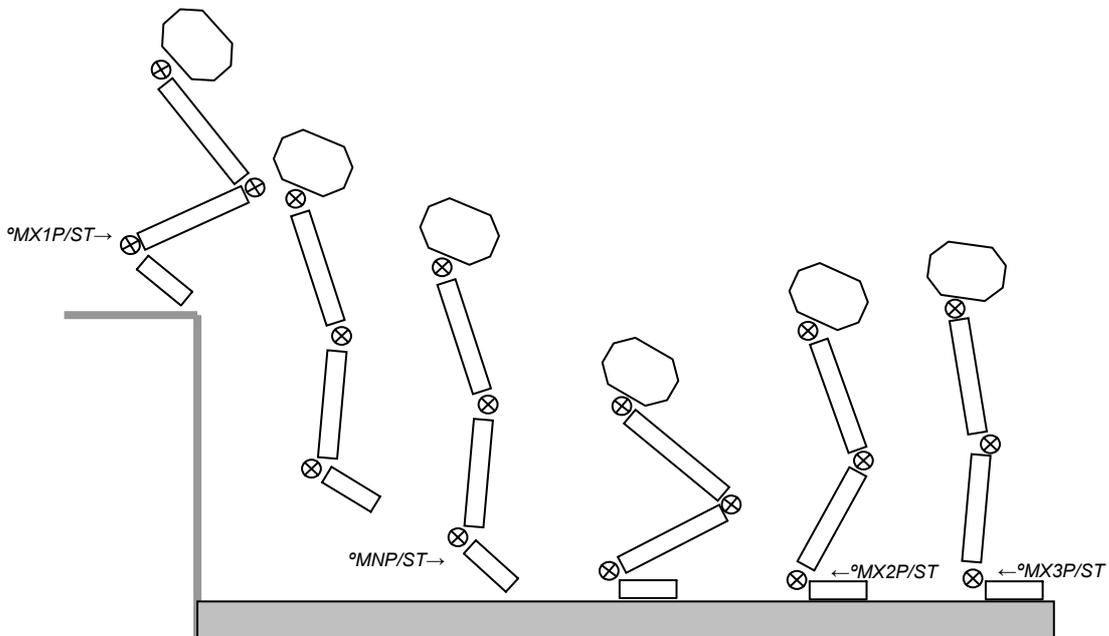


Figura 30.- Parámetros analizados en el movimiento de prono/supinación subastragalina.

La tabla 50 y los gráficos 52, 53, 54, 55 y 56 muestran los valores medios de cada uno de los parámetros analizados en la variable prono/supinación. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA), mostraron en algunos de los parámetros analizados diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (tabla 51).

	COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TÍPICA	TIEMPOS
°MX1P_ST	C1	7.86	5.08	0.27
	C2	9.9	8.2	0.32
	C3	2.18	5.94	0.31
	C4	4.51	5	0.3
	C5	0.48	4.19	0.32
	C6	7.87	15.2	0.4
°MX2P_ST	C1	20.01	7.82	0.82
	C2	22.64	7.71	0.76
	C3	19.61	8.62	0.81
	C4	17.68	6.26	0.9
	C5	12.8	6.3	0.83
	C6	15.11	9.81	0.77
°MX3P_ST	C1	0.02	5.78	0.96
	C2	0.99	7.05	0.98
	C3	0.64	2.99	0.99
	C4	1.29	5.3	0.95
	C5	0.52	6.17	0.95
	C6	6.95	9.27	1
°MNP_ST	C1	-9.56	8.7	0.42
	C2	-13.8	5.56	0.45
	C3	-10.29	5.8	0.53
	C4	-16.19	4.6	0.48
	C5	-12.47	4.48	0.49
	C6	-19.03	4.87	0.55

Tabla 50.- Valores medios y tiempos para la variable prono/supinación subastragalina.

PARÁMETROS	Colchonetas con diferencias significativa ($p < 0.05$)
°MX1P/ST	C2:C5 – C5 :C2
°MX2P/ST	C2:C5,C6 – C5:C2 – C6:C2
°MX3P/ST	C1:C6 – C3:C6 – C5:C6 – C6 : C1, C3, C5
°MNP/ST	C1 : C4, C6 – C3 : C4 – C4 : C1 – C5 : C6 – C6 : C1,C3,C5
TMX1P/ST	C4 :C6 – C6 :C4
TMNP/ST	C1 : C6 – C6 : C1

Tabla 51.- Parámetros con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la variable prono/supinación subastragalina.

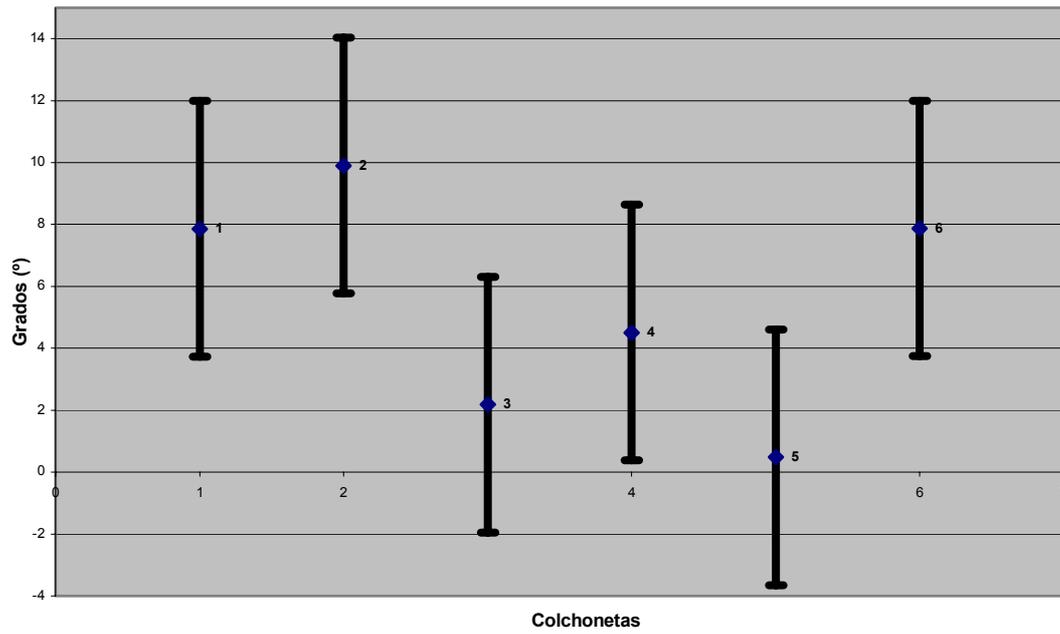


Gráfico 52.- Valores medios para °MX1P/ST.

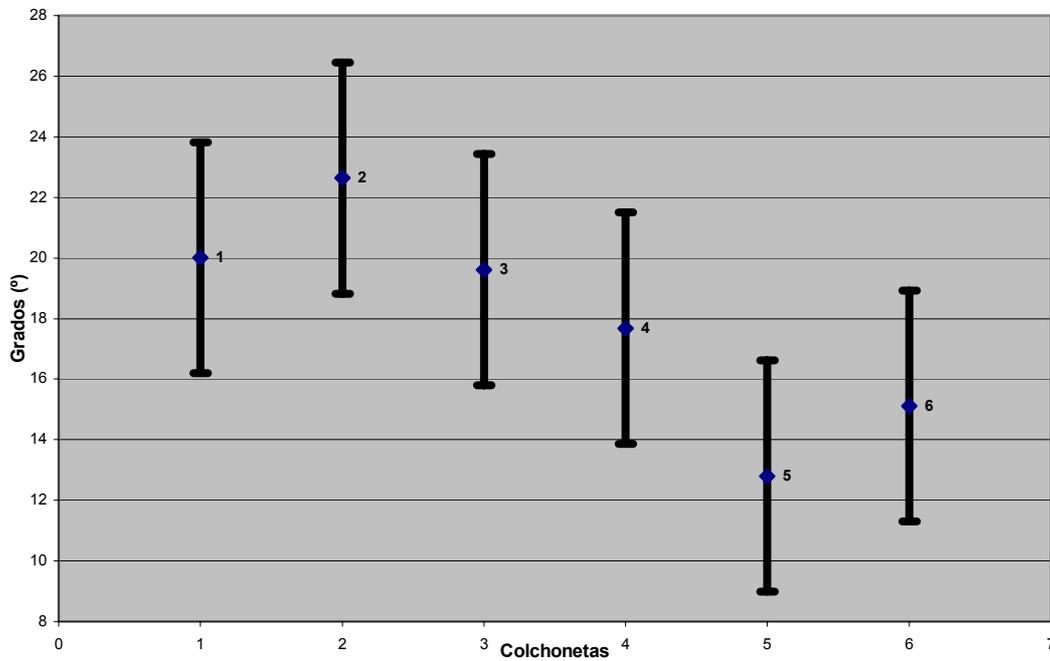


Gráfico 53.- Valores medios para °MX2P/ST.

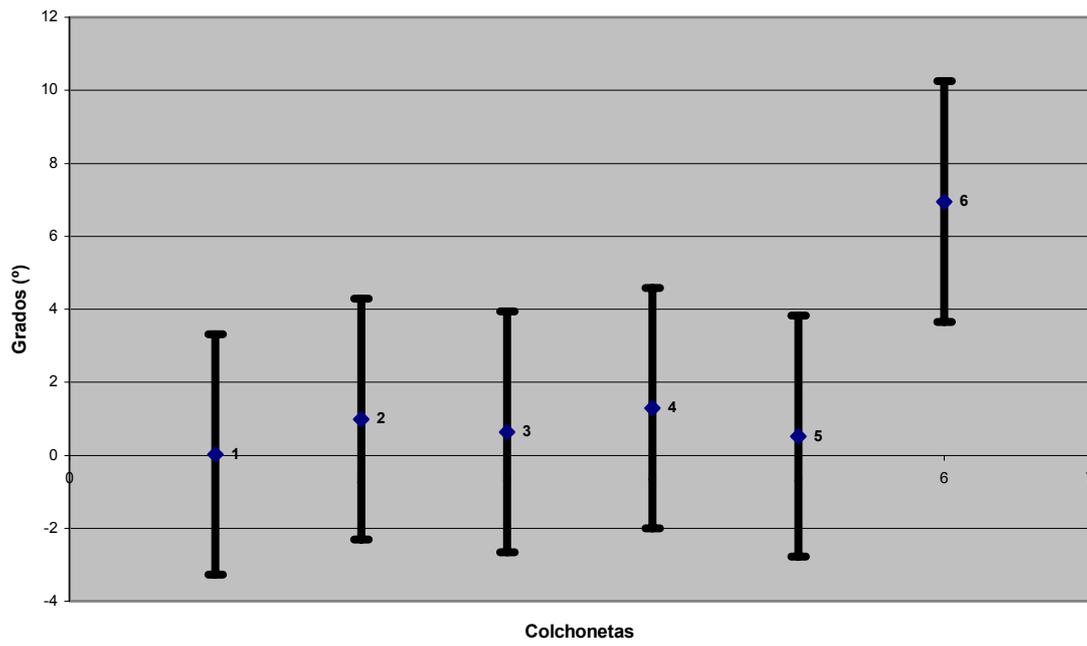


Gráfico 54.- Valores medios para °MX3P/ST.

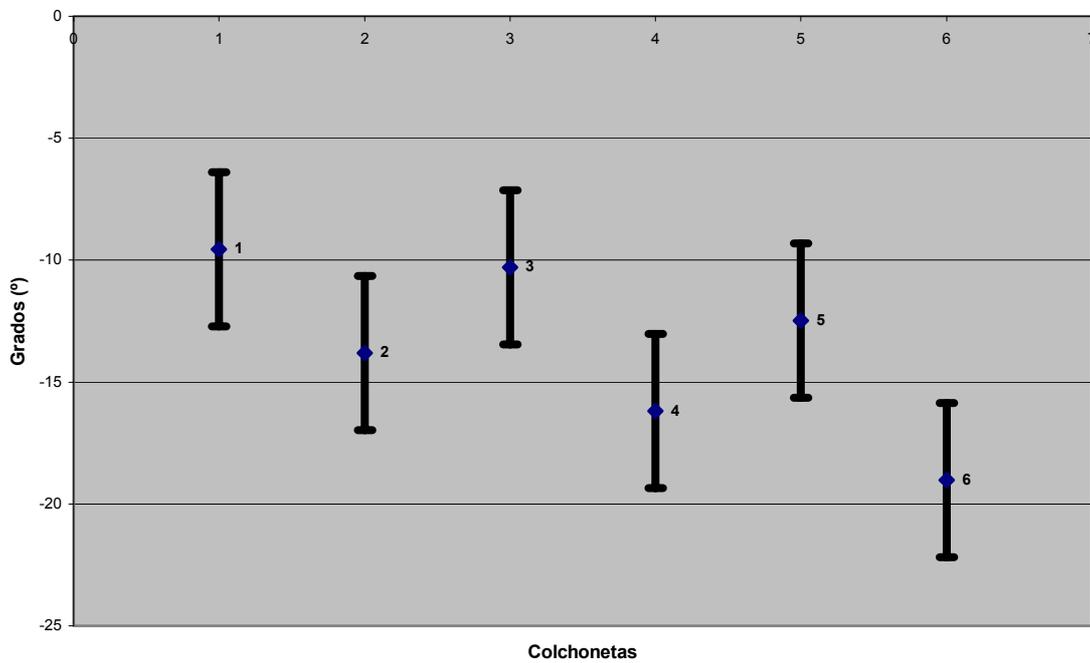


Gráfico 55.- Valores medios para °MNP/ST.

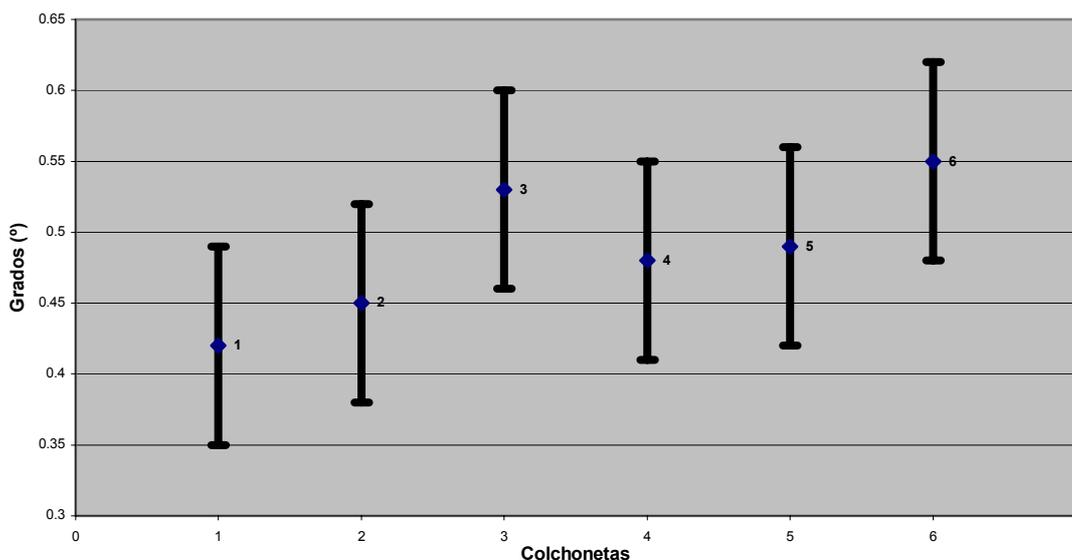


Gráfico 56.- Valores medios para TMNP/ST.

- **Grupos homogéneos obtenidos en las variables de electrogoniometría.**

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones múltiples post hoc de las medias obtenidas asumiendo varianzas iguales (Bonferroni), mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en algunas de las colchonetas y las distintas variables analizadas en los estudios de electrogoniometría, tal y como muestran los grupos homogéneos de las tablas 52, 53, 54 y 55.

	°MX2CA					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1						
C2						
C3						
C4						
C5						
C6						

Tabla 52.- Grupos homogéneos en la articulación de la cadera.

	°MX1RO						°MX2RO						°MNRO					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1																		
C2																		
C3																		
C4																		
C5																		
C6																		

Tabla 53.- Grupos homogéneos en la articulación de la rodilla.

	°MNF/ET					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1						
C2						
C3						
C4						
C5						
C6						

Tabla 54.- Grupos homogéneos en el movimiento de Flexo/Extensión de la articulación tibiotarsiana.

	TMX1P/ST						°MX1P/ST						°MX2P/ST					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1																		
C2																		
C3																		
C4																		
C5																		
C6																		
	°MX3P/ST						TMNP/ST						°MNP/ST					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1																		
C2																		
C3																		
C4																		
C5																		
C6																		

Tabla 55.- Grupos homogéneos en el movimiento de Prono/Supinación de la articulación del subastragalina.

3.3.3.4.- Análisis factorial de componentes principales.

El análisis factorial en las cuatro articulaciones analizadas y sus respectivos parámetros permitió, primero, identificar y después reducir a un número menor de factores que explicasen la mayoría de la varianza observada. Las comunalidades (tabla 56) de los distintos parámetros nunca fueron menores que 0.7.

	Inicial	Extracción		Inicial	Extracción
TMX1CA	1	0.764	TMX2F/ET	1	0.84
TMX2CA	1	0.72	°MX3F/ET	1	0.911
°MX1CA	1	0.755	°MX1F/ET	1	0.761
°MX2CA	1	0.916	°MX2F/ET	1	0.837
TMNCA	1	0.845	TMNF/ET	1	0.86
°MNCA	1	0.796	°MNF/ET	1	0.724
TMX1RO	1	0.883	TMX3P/ST	1	0.829
TMX2RO	1	0.924	TMX1P/ST	1	0.858
°MX1RO	1	0.854	TMX2P/ST	1	0.821
°MX2RO	1	0.729	°MX3P/ST	1	0.821
TMNRO	1	0.942	°MX1P/ST	1	0.845
°MNRO	1	0.787	°MX2P/ST	1	0.864
TMX3F/ET	1	0.864	TMNP/ST	1	0.702
TMX1F/ET	1	0.924	°MNP/ST	1	0.784

Tabla 56.- Análisis factorial: comunalidades electrogoniometría.

Se han extraído 9 componentes principales con un valor acumulado en la varianza total explicada del 82.72 %, destacando en esta extracción el elevado porcentaje de varianza explicado por el primer factor, con un 22.03% (tabla 57).

Componentes	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TMX3P/ST	.875								
TMX1F/ET	.813								
TMNF/ET	.809								
TMX2CA	.775								
TMX2P/ST	.757								
TMNCA	.693								
TMX2RO	.678			.567					
TMX1CA	.648								
°MX2P/ST		-.812							
°MX1CA		.771							
TMX1P/ST		.634	.467						
°MNRO		.565							
°MX3P/ST			.846						
°MNP/ST			.702						
°MX1P/ST	-.422		.546			-.471			
TMNP/ST			.403						
TMX1RO				.868					
TMNRO	.434			.818					
°MX3F/ET					.787				
TMX2F/ET					.783				
TMX3F/ET	.498				.745				
°MX1F/ET						.747			
°MX2RO						.704			
°MX2F/ET							.853		
°MNF/ET			.475				.570		
°MNCA								-.735	
°MX1RO								.471	
°MX2CA									.922
% Varianza Explicada	22.027	11.151	9.343	8.689	8.146	7.179	6.621	4.994	4.567

Tabla 57.- Matriz de componentes rotados y varianza explicada por cada componente en electrogoniómetros.

Por lo tanto, los parámetros de electrogoniometría quedarían explicados empleando 9 factores de agrupación, siendo:

- Factor 1.- Tiempos de los parámetros de cadera y tobillo.
- Factor 2.- Cuanto mayor sea la flexión de cadera durante la salida y la extensión de rodilla durante el contacto con la colchoneta, mayor será la pronación subastragalina durante la estabilización.
- Factor 3.- Estabilización de la articulación subastragalina en el movimiento de prono/supinación.
- Factor 4.- Tiempos de la articulación de la rodilla.
- Factor 5.- Estabilización de la articulación del tobillo en el movimiento de flexo/extensión.
- Factor 6.- Cuanto mayor sea la extensión del tobillo en la salida y vuelo, mayor flexión de la rodilla durante la estabilización en la colchoneta.
- Factor 7.- Cuanto mayor sea la flexión de tobillo durante el impacto y la estabilización en la colchoneta, mayor extensión durante la fase de estabilización.
- Factor 8.- Cuanto mayor sea la flexión de rodilla durante la salida de la plataforma, mayor extensión de la cadera durante la fase de vuelo.
- Factor 9.- Segundo máximo de flexión de cadera ($^{\circ}$ MX2CA) tras el impacto e inicio de la estabilización en colchoneta.

3.3.4.- Estudios de percepción.

Tras el tratamiento estadístico realizado, los resultados obtenidos en los estudios de percepción permitieron conocer la percepción y valoración de las propiedades de la colchoneta tras la recepción.

- **Resultados descriptivos en la valoración perceptiva de la recepción sobre la muestra de colchonetas estudiada.**

Como muestran los datos de la tabla 58 donde figura la media, moda, desviación típica y coeficiente de variación de las variables de percepción analizadas, se observa una amplia distribución de los valores de percepción en cada variable, lo cual puede ser de interés para posteriores estudios, ya que los gimnastas perciben de manera diferentes las propiedades de la colchoneta, a la vez que asignan más o menos importancia a unos u otros aspectos.

	Media	Moda	Desviación típica	Coef.variación (%)
DEFORMACIÓN	3.44	4	1.28	37.21
ABRASIÓN	3.33	3	0.62	18.62
DEV.ENERGÍA	3.37	4	1.15	34.12
ESTABILIDAD	3.41	4	1.15	33.72
VELOC.RECUPER	3.52	4	1.12	31.82

Tabla 58.- Media, moda, desviación típica y coeficiente de variación de las variables de percepción analizadas.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis, no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (tabla 59).

	Deformación	Abrasión	Dev.energía	Estabilidad	Veloc. recuper
Chi-cuadrado	2.455	2.895	6.852	8.230	5.162
Sig. asintót.	.783	.716	.232	.144	.396

Tabla 59.- Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis. Estadísticos de contraste.

No obstante, se observaron algunas tendencias de interés (gráficos 57, 58, 59, 60 y 61) en la percepción que los gimnastas realizaron sobre algunas propiedades, así en la tabla 60 se muestra la valoración ordenada en la percepción de cada variable: (1) menor y (5) mayor deformación, (1) menor y (5) mayor abrasión, (1) menor y (5) mayor devolución de energía, (1) menos y (5) más estable, y (1) peor y (5) mejor velocidad de recuperación.

Orden en la percepción	DEFORMACIÓN	ABRASIÓN	DEV.ENERGÍA	ESTABILIDAD	VELOC.RECUPER
1	C1	C4	C1	C1	C1 - C4
2	C4 - C5	C1	C5	C3	C2
3	C6	C5 - C6	C6	C2	C3 - C5
4	C2	C3	C4	C4	C6
5	C3	C2	C2	C5	
6			C3	C6	

Tabla 60.- Orden en la percepción de las variables analizadas.

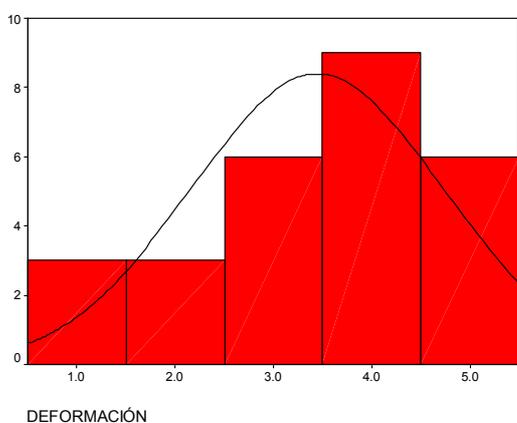


Gráfico 57.- Histograma deformación.

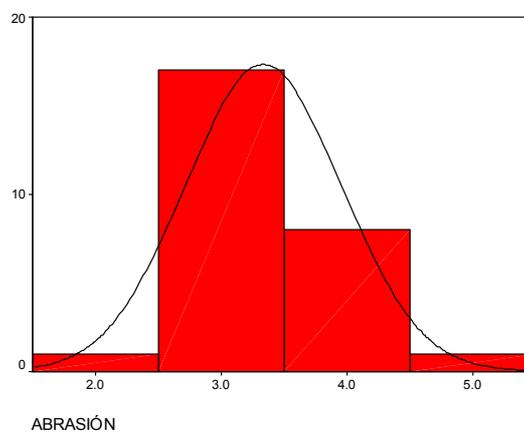


Gráfico 58.- Histograma abrasión.

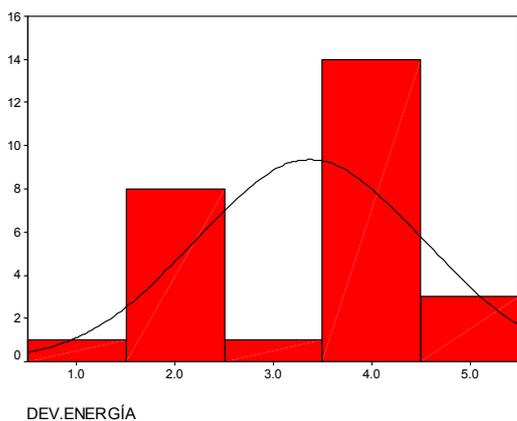


Gráfico 59.- Histograma devolución de energía.

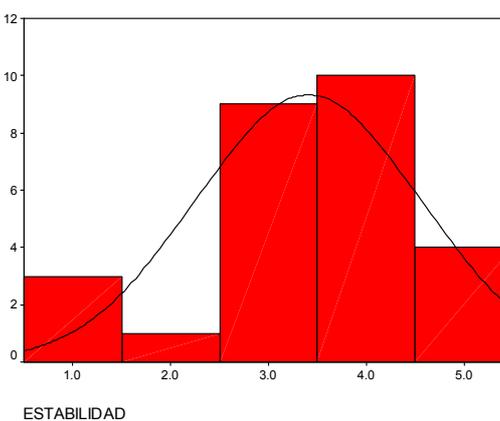


Gráfico 60.- Histograma estabilidad.

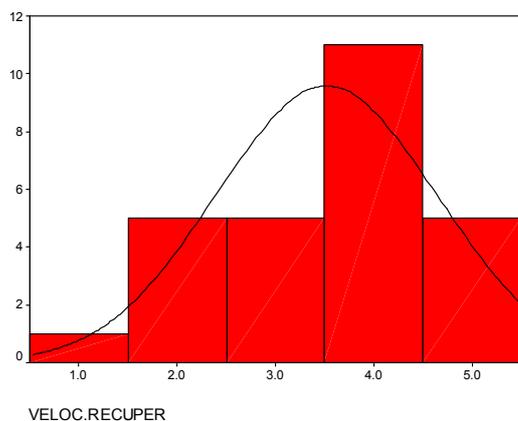


Gráfico 61.- Velocidad de recuperación.

Según la tabla anterior, se observa como las colchonetas C1 y C4 ocupan las primeras posiciones (buena percepción) en la mayoría de las variables analizadas, seguidas de las colchonetas C5 y C6 (con excepción en la valoración de la estabilidad y velocidad de recuperación). Finalmente, las colchonetas C2 y C3 obtienen una mala percepción, aunque con valores de estabilidad y velocidad de recuperación mejores que C5 y C6.

En el análisis de correlaciones para pruebas no paramétricas de Spearman (tabla 61, los resultados presentaron bastantes correlaciones significativas ($p < 0.05$ y $p < 0.01$) entre las variables de estudio, destacando principalmente la alta correlación ($r = 0.715$) entre la variable deformación y devolución de energía, así como la alta correlación ($r = 0.694$) entre la estabilidad y la velocidad de recuperación.

Correlaciones		DEFORMACIÓN	ABRASIÓN	DEV.ENERGÍA	ESTABILIDAD	VELOC.RECUPER
DEFORMACIÓN	Coefficiente de correlación					
	Sig. (bilateral)					
ABRASIÓN	Coefficiente de correlación	.473*				
	Sig. (bilateral)	.013				
DEV.ENERGÍA	Coefficiente de correlación	.715**	.505**			
	Sig. (bilateral)	.000	.007			
ESTABILIDAD	Coefficiente de correlación	.360	.406*	.358		
	Sig. (bilateral)	.065	.035	.067		
VELOC.RECUPER	Coefficiente de correlación	.437*	.495**	.460*	.694**	
	Sig. (bilateral)	.023	.009	.016	.000	

Tabla 61.- Correlaciones no paramétricas de Spearman (* $p < 0.05$ y ** $p < 0.01$).

3.4.- ANÁLISIS CONJUNTO DE LOS RESULTADOS; ESTUDIOS MECÁNICOS, BIOMECÁNICOS Y DE PERCEPCIÓN.

El análisis de correlaciones (Pearson) para el tratamiento estadístico conjunto de los resultados obtenidos en cada uno de los estudios, permitió obtener:

- a) Correlaciones entre las variables analizadas en los diferentes estudios.
- b) Correlaciones entre variables mecánicas con percepción, mecánicas y biomecánicas, y biomecánicas con percepción.

De los resultados obtenidos en el tratamiento estadístico, se analizaron las correlaciones significativas ($p < 0.05$), y se estableció como criterio para la interpretación de los resultados el considerar:

- Correlación significativa baja ($p < 0.05$) valores < 0.4 .
- Correlación significativa moderada ($p < 0.05$) valores entre $> 0.4 - < 0.7$.
- Correlación significativa alta ($p < 0.05$) valores > 0.7 .

3.4.1.- Resultados de correlación entre variables de un mismo estudio.

- **Resultados en los estudios mecánicos.**

1. Los resultados de las distintas variables analizadas en los ensayos mecánicos muestran una alta significación ($p < 0.01$) entre la media y la moda, utilizándose para los estudios los valores de la media, así la correlación entre ambas variables fue: G (deceleración) $r = 0.996$, D (deformación) $r = 0.997$ y Dev. Ener (devolución de energía) $r = 0.996$.
2. Cuanto mayor es el impacto (mayor deceleración) y menor la deformación, menor es la absorción de energía por parte de la colchoneta.

- **Resultados en los estudios biomecánicos.**

1. Las elevadas presiones en la zona media del pie correlacionan ($p < 0.01$) de manera positiva baja con el factor 8 de los estudios de electrogoniometría ($r = 0.322$), es decir, con una mayor extensión de cadera durante la fase de vuelo antes del contacto.
2. El aumento de presión en la zona delantera del pie (antepié) correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva moderada con el factor 1 ($r = 0.600$), el factor 2 ($r = 0.561$) y el factor 4 ($r = 0.454$) de los estudios de electrogoniometría, lo que supone mayor tiempo de intervención de las articulaciones de cadera, rodilla y complejo tobillo-subastragalina durante la recepción.

3. El aumento de presión en la zona del talón (retropié) durante la recepción, correlaciona ($p < 0.01$) de manera negativa baja con el factor 3 ($r = -0.441$), el factor 7 ($r = -0.388$) y el factor 8 ($r = -0.335$) de los estudios de electrogoniometría, y moderada con el factor 2 ($r = -0.482$) de los estudios de acelerometría y dinamometría. Esta correlación supone que, durante la recepción, un aumento de presión en talón el gimnasta, implica una elevada aceleración en tibia y cabeza, debido fundamentalmente a la poca flexión de cadera, rodilla y tobillo, así como estabilización de la articulación subastragalina en el movimiento de prono/supinación durante el contacto con la colchoneta.
4. Durante la recepción, el aumento de la presión en la zona externa del pie (pie externo), posee una correlación ($p < 0.01$) negativa moderada con el factor 5 ($r = -0.482$) y baja con el factor 6 ($r = -0.335$) de los estudios de electrogoniometría. Dichas correlaciones indican mayores tiempos de intervención en la flexo/extensión de la articulación tibio-tarsiana y en la prono/supinación de la articulación subastragalina. Esto muestra una mayor dificultad para la estabilización del gimnasta sobre la colchoneta, dado que indica una transferencia del peso del cuerpo hacia delante, obligando al gimnasta a realizar reajustes posturales.
5. En los estudios de acelerometría y dinamometría, el factor 2 correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva alta ($r = 0.723$) con el factor 3, indicado una relación entre los segundos picos máximos de aceleración en tibia y cabeza, con el aumento de las magnitudes de impacto. Es decir, esta correlación muestra la dificultad del gimnasta para reducir las elevadas magnitudes de impacto durante la recepción, donde a mayor magnitud de impacto, mayor es la aceleración en tibia y cabeza.
6. Se observa una correlación ($p < 0.01$) positiva moderada entre el elevado valor de “veces el peso corporal”, con el factor 2 ($r = 0.621$) y el factor 4 ($r = 0.621$) de los estudios de acelerometría y dinamometría, lo cual indica un aumento en los picos máximos de aceleración en tibia y cabeza. En este sentido, al igual que en el párrafo anterior, esta relación muestra las dificultades que posee el gimnasta para absorber las elevadas magnitudes de impacto durante la recepción.
7. El factor 1 de los estudios de acelerometría y dinamometría correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva moderada ($r = 0.468$) con el factor 9 de los estudios de electrogoniometría. Dicha correlación muestra como las fuerzas de impacto y las aceleraciones en tibia y cabeza se reducen al aumentar la flexión de cadera durante la recepción.

8. Una correlación positiva moderada ($r = 0.426$) entre el factor 2 de los estudios de acelerometría y dinamometría con el factor 1 de los estudios de electrogoniometría supone mayor tiempo de intervención de las articulaciones de cadera, rodilla, tobillo y subastragalina, reduciendo así las aceleraciones en tibia y cabeza.
9. La correlación negativa ($p < 0.01$) moderada ($r = -0.419$) entre el factor 2 de los estudios de acelerometría y dinamometría con el factor 3 de los estudios de electrogoniometría, indica que ante una elevada magnitud de impacto, la pronación subastragalina durante la recepción es menor.

- **Resultados en los estudios de percepción.**

1. La percepción de una adecuada deformación durante la recepción en la colchoneta, correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva moderada con una mejor percepción en la velocidad de recuperación ($r = 0.502$) y alta con la devolución de energía ($r = 0.746$). Es decir, que la percepción de una adecuada deformación en la colchoneta se relaciona con la adecuada velocidad de recuperación y absorción de energía tras la recepción, de tal modo que, el gimnasta percibe positivamente una adecuada reducción de las fuerzas de reacción y recuperación de la colchoneta lo más rápidamente posible a su estado inicial.
2. La percepción de una adecuada devolución de energía, correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva moderada ($r = 0.532$) con la percepción de una adecuada velocidad de recuperación de la colchoneta. Es decir, que la percepción del gimnasta en la reducción de las fuerzas de reacción por parte de la colchoneta, se relaciona con la adecuada capacidad de la colchoneta para recuperar su estado inicial tras el impacto.
3. La percepción de una adecuada estabilidad, correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva alta ($r = 0.752$) con una mejor percepción de velocidad de recuperación. Esta relación muestra como los gimnasta perciben la colchoneta más estable, cuanto menos tiempo necesite la colchoneta en recuperar su forma inicial tras el impacto.

3.4.2- Resultados de correlación entre variables mecánicas con percepción, biomecánicas y mecánicas, y biomecánicas con percepción.

Referente a las correlaciones existentes entre las variables mecánicas con las variables de percepción, los resultados no mostraron ningún tipo de correlación significativa ($p > 0.01$ y $p > 0.05$) entre ellas.

- **Resultados en el análisis conjunto de los ensayos biomecánicos y mecánicos.**

Los resultados muestran las siguientes correlaciones significativas ($p < 0.01$ en todos los casos):

1. La elevada presión de la zona del talón, correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva baja con los resultados de aceleración ($r = 0.343$) y devolución de energía ($r = 0.360$) de los ensayos mecánicos. Es decir, que una mayor presión en la zona del talón se relaciona con una menor absorción del impacto y una mayor devolución de energía tras la recepción en la colchoneta.
2. Las “veces el peso corporal” soportado por el gimnasta correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva moderada con las aceleraciones de los ensayos mecánicos ($r = 0.588$), y de manera negativa moderada ($r = -0.615$) con la deformación de la colchoneta. Estos resultados, permiten pensar que el gimnasta soportará una mayor magnitud de impacto en aquellas colchonetas que menos se deformen.
3. El factor 2 de los estudios de acelerometría y dinamometría correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva baja ($r = 0.298$) con la deformación de la colchoneta. Es decir, que una mayor deformación de la colchoneta, reduce los segundos máximos de aceleración en tibia y cabeza.
4. El factor 4 de los estudios de acelerometría y dinamometría, es decir, el primer máximo de aceleración en cabeza, correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva baja ($r = 0.386$) con los valores máximos de aceleración en los ensayos mecánicos. Esto muestra como el máximo de aceleración en cabeza se relaciona con la aceleración máxima de los ensayos mecánicos.
5. EL factor 6 de los estudios de electrogoniometría, es decir, una mayor flexión de rodilla durante la recepción, correlaciona ($p < 0.01$) de manera positiva baja ($r = 0.293$) con la deformación de la colchoneta, y de manera negativa baja con la deceleración ($r = -0.382$) y devolución de energía ($r = -0.269$). Esta relación muestra, como el gimnasta flexiona más la rodilla en colchonetas con mayor deformación, reduciendo así las fuerzas de impacto y facilitando la estabilidad del gimnasta tras la recepción.

- **Resultados en el análisis conjunto de los ensayos biomecánicos y de percepción.**
 1. La percepción de estabilidad de la colchoneta correlaciona de manera significativa ($p < 0.01$) con la presión en la zona delantera del pie ($r = -0.605$), así como también ($p < 0.05$) con el factor 1 ($r = -0.351$) y el factor 9 ($r = 0.414$) de los estudios de electrogoniometría, y con el factor 3 ($r = 0.422$) de los estudios de acelerometría. Es decir, que cuanto más inestable se percibe la colchoneta, las presiones en la zona delantera del pie aumentan, la flexión de cadera es menor, y se necesita un mayor tiempo para estabilizarse en la colchoneta y finalizar la recepción.
 2. La percepción de deformación de la colchoneta correlaciona de manera significativa ($p < 0.05$) con la presión en la zona del talón del pie ($r = 0.480$) y con el factor 3 ($r = -0.468$) de los estudios de electrogoniometría. Es decir, cuanto mayor deformación se perciba en la colchoneta, las presiones en la zona del talón se reducen y aumentan los rangos de pronosupinación en la articulación subastragalina.
 3. La velocidad de recuperación de la colchoneta correlaciona ($r = -0.431$) de manera significativa ($p < 0.05$) con la presión en la zona delantera del pie y con el factor 2 ($r = -0.448$) de los estudios de acelerometría y dinamometría. Es decir, cuanto menos adecuada sea la percepción en la velocidad de recuperación de la colchoneta, aumentan las presiones en la zona delantera del pie y los segundos máximos de aceleración en tibia y cabeza.

ÍNDICE DISCUSIÓN

4.- DISCUSIÓN.....	166
4.1.- Aspectos más importantes en las propiedades y características de una colchoneta.....	167
4.2.- Validez de los ensayos normativos para predecir los mecanismos de lesión.....	171
4.2.1.- Descripción biomecánica de la recepción.....	171
4.2.2.- Análisis de los principales mecanismos de lesión durante la recepción....	174
4.2.3.- Validez de los criterios y de la metodología de ensayo según norma.....	177

4.- DISCUSIÓN.

En el siguiente apartado se discuten los resultados obtenidos en los diferentes estudios realizados en esta Tesis Doctoral, los cuales han permitido, fundamentalmente;

1. Identificar los aspectos y características que gimnastas y entrenadores, consideran más importantes en una colchoneta para gimnasia deportiva, además de evaluar si tales aspectos son o no analizados por la normativa actual.
2. Describir, atendiendo a diferentes variables biomecánicas, la recepción del gimnasta en la colchoneta, así como analizar en base a los resultados obtenidos, los principales mecanismos de lesión en gimnasia, asociados a la falta de amortiguación de las fuerzas de impacto y de estabilidad de la colchoneta.
3. Analizar si los ensayos propuestos según norma permiten evaluar correctamente las propiedades y características que una colchoneta debe cumplir, así como la validez de la norma para predecir los mecanismos de lesión en gimnasia.

4.1.- ASPECTOS MÁS IMPORTANTES EN LAS PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE UNA COLCHONETA.

El análisis de los resultados en los estudios de opinión, ha permitido identificar cuales son las especificaciones que una colchoneta de gimnasia debería cumplir para satisfacer las necesidades o requisitos que tanto gimnastas como entrenadores demandan. En este sentido, como aspectos más valorados y susceptibles de mejora en las colchonetas cabe destacar:

1. La amortiguación y absorción de energía.
2. La estabilidad de la superficie durante la recepción, relacionada según estos con la areaelasticidad y la velocidad de recuperación.
3. Los acabados sobre la superficie de la colchoneta: con colores atractivos, evitando la abrasión de la piel en la planta del pie y sin aparecer huecos o vacíos entre las uniones de colchonetas.
4. La facilidad de limpieza y transporte.

De estos requisitos en las colchonetas, y en consonancia con los objetivos de esta Tesis Doctoral, encontramos que en relación con las lesiones se consideran aspectos como la abrasión, estabilidad y la amortiguación de impactos, aspectos que parecen estar cubiertos por los ensayos normativos. No obstante, si se analiza la norma, realmente no todos los aspectos destacados por los gimnastas son considerados. En este sentido:

a) La normativa contempla:

- Un coeficiente de fricción óptimo ≥ 0.8 (E.N. 12503-5), que permita al gimnasta estabilizarse sobre la colchoneta sin riesgo a caída por deslizamiento o quemadura por abrasión.
- Ensayos que permitan evaluar la deformación dinámica y estática (E.N 12503-7), así como la absorción del impacto (E.N 12503-4)(ver propiedades funcionales F.I.G. (2000), apartado 1.2.3.2 del estado del arte).
- Un comportamiento similar en los bordes de la colchoneta, evitando huecos o vacíos entre los aparatos y las colchonetas (F.I.G. 2000).

b) Sin embargo, entre los aspectos también mencionados como importantes en una colchoneta y su posible relación con las lesiones, la normativa no contempla:

- El comportamiento areaelástico y homogéneo de la superficie tras el impacto, evitando una deformación desigual por zonas en la superficie.
- La velocidad de recuperación de la colchoneta, de tal manera que recupere sus características y propiedades iniciales lo más rápidamente posible tras el impacto, evitando el rebote del gimnasta durante la recepción.

En este sentido, en el caso de que la estabilidad no se relacionara con la deformación sería necesario considerar en futuros estudios, si estos aspectos no considerados por la norma, poseen alguna relación con la biomecánica del gesto y los mecanismos de lesión.

Estos resultados muestran como los aspectos más importantes en el desarrollo de una colchoneta y los esfuerzos por mejorarla, *a priori* cubiertos por la norma, deben estar dirigidos hacia la mejora de las propiedades de absorción y deformación de los materiales empleados, ya que los gimnastas, son capaces de identificar estos dos aspectos (dos de los más importantes mecanismos de lesión) y demandan colchonetas que reduzcan las fuerzas de impacto y que aumenten la estabilidad tras la recepción.

El problema surge al intentar maximizar la amortiguación y deformación, pues si las fuerzas de impacto se reducen a medida que la deformación en la colchoneta aumenta, ¿por qué no permitir una mayor deformación de éstas?... la respuesta estaría relacionada con:

- La prevención de lesiones: ya que colchonetas más blandas provocarían que el pie del gimnasta quedara “*clavado*” en la colchoneta, pudiendo desencadenar esguinces o fracturas.

- El rendimiento deportivo en competición: ya que al aumentar la deformación, posiblemente la estabilidad del gimnasta sea menor (según muestra los resultados obtenidos en los estudios de percepción, con una correlación significativa ($p < 0.05$) entre la percepción de deformación-estabilidad ($r = 0.446$)), pudiendo provocar un desequilibrio o paso adicional, que reduzca la puntuación final en la competición.

Los estudios de percepción realizados muestran como los gimnastas, no solo son capaces de identificar y distinguir los aspectos más importantes en las propiedades de una colchoneta, sino que además, también son capaces de percibir subjetivamente tales aspectos. En este sentido, en la percepción de las propiedades definidas como más importantes en una colchoneta, los resultados mostraron dos correlaciones significativas que podrían estar relacionadas con los mecanismos de lesión mencionados:

- Una primera correlación ($r = 0.746$) y ($p < 0.01$), entre una buena percepción de la deformación de la colchoneta con una buena percepción en la devolución de energía, podría estar relacionada con el mecanismo de lesión debido a elevadas magnitudes de impacto, de tal modo que, si la colchoneta no se deformara lo suficiente, el organismo del gimnasta debería de absorber prácticamente las fuerzas de impacto.

En este sentido, en los resultados de los estudios mecánicos según norma estudiados en esta Tesis Doctoral, también se observa una correlación significativa ($r = 0.997$) y ($p < 0.01$) entre deformación y devolución de energía, donde mayores índices de deformación serían favorables para reducir las elevadas fuerzas de impacto ante la llegada del impactador. Sin embargo, no se encontraron correlaciones entre las variables de los estudios de percepción y las variables analizadas en los ensayos mecánicos. Entre las posibles causas que permitan explicar la falta de correlación en ambas variables de estudio, destaca la posibilidad de no existir relación entre lo analizado en los ensayos mecánicos y lo que perciben los gimnastas durante la recepción en la colchoneta, lo cual muestra una evidencia más de la necesidad de revisar los criterios empleados actualmente en los ensayos normativos.

A pesar de no existir una correlación significativa entre la percepción de las propiedades de la colchoneta con los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos, si se analiza el orden de valoración en la percepción de las colchonetas (tabla 58), se observa como las colchonetas mejor valoradas subjetivamente (colchoneta nº 1 y nº 4), también obtuvieron, de manera conjunta, menores valores de deceleración y deformación en los ensayos mecánicos. Esta valoración por parte de los gimnastas muestra que son capaces de identificar y distinguir entre diferentes colchonetas. Aquellas que más se ajustan a las propiedades que demandan, son las que proporcionan un nivel de deformación que les permita estabilidad y absorción del impacto. Además, los gimnastas también fueron capaces de percibir aquellas

colchonetas con deceleraciones mayores y menores deformaciones en los ensayos mecánicos, siendo su valoración negativa en cuanto a la deformación y devolución de energía percibida.

- La segunda correlación ($r = 0.752$) y ($p < 0.01$), entre la mejor percepción de estabilidad en la colchoneta con una mayor velocidad de recuperación, podría estar más relacionada con el mecanismo de lesión por inestabilidad que por elevados impactos. En este sentido, las propiedades más importantes que actualmente contemplan los ensayos normativos, relacionadas fundamentalmente con las características de amortiguación, deformación y devolución de energía, no consideran la velocidad de recuperación de la colchoneta y su relación con la estabilidad del gimnasta. Por tanto, sería recomendable que los ensayos mecánicos de la norma tuvieran criterios que permitieran evaluar esta velocidad de recuperación.

Como conclusiones a este apartado, se observa como la norma actual analiza las características y propiedades de las colchonetas mediante ensayos mecánicos, sin considerar al gimnasta y su interacción con la colchoneta ni, tampoco, la percepción que los gimnastas tienen de las propiedades tras la recepción. Del análisis de los estudios de opinión y de percepción realizados en esta Tesis Doctoral, se observa como no todas las propiedades que los gimnastas consideran como importantes en una colchoneta tales como la areaelasticidad de la colchoneta o la velocidad de recuperación tras la recepción, son analizadas por la norma. Esto podría explicar, en parte, el elevado número de lesiones en gimnasia. Además, los estudios de percepción realizados, indican que este tipo de análisis de las percepciones subjetivas podrían contribuir en la mejora de los criterios de una colchoneta. Tal consideración del gimnasta en el estudio de las propiedades de la colchoneta, también la muestran otros autores (Lees, A. 1981; Gross y Nelson, 1987; Panzer, 1987; Dufek y bates, 1990; McNitt-Gray y cols, 1993) que evidencian la necesidad de evaluar las propiedades de la colchoneta, considerando en este caso, la biomecánica del gimnasta durante la recepción.

En el siguiente apartado, se realiza una descripción de la recepción atendiendo a distintas variables biomecánicas, así como su análisis para predecir las lesiones asociadas a la deficiente amortiguación de las fuerzas de impacto e inestabilidad sobre la colchoneta, y que de algún modo, justifican la necesidad de establecer nuevos ensayos y criterios normativos.

4.2.- VALIDEZ DE LOS ENSAYOS NORMATIVOS PARA PREDECIR LOS MECANISMOS DE LESIÓN.

En cuanto a la relación existente entre epidemiología y criterios normativos, y más concretamente, si la norma predice o no los principales mecanismos de lesión en gimnasia, el análisis de distintas variables biomecánicas durante la recepción permitió entender los efectos en el gimnasta, así como estudiar la amortiguación de las fuerzas de impacto y la estabilidad de las colchonetas.

En este sentido, el estudio biomecánico de la recepción ha permitido;

- a) Describir, mediante distintas variables biomecánicas, el gesto de la recepción.
- b) Estudiar los mecanismos de lesión asociados a las colchonetas.
- c) Analizar la validez de la norma para predecir los mecanismos de lesión.

4.2.1.- Descripción biomecánica de la recepción.

La mayor parte de los estudios centrados en la respuesta de la superficie tras una recepción, deberían analizar de manera conjunta distintas variables cinéticas y cinemáticas, tal y como indica McNitt-Gray y cols. (1994). Sin embargo, algunos estudios analizan dichas variables de manera individualizada y, en ocasiones sobre, una misma superficie (Devita y cols. 1992; McNitt-Gray. 1994; Brian y cols. 2000), siendo cada vez más los estudios que lo realizan de manera conjunta y en diferentes superficies (Mizrahi y cols. 1982; McKinley y cols. 1992; McNitt-Gray y cols. 1993, en McNitt-Gray y cols. 1994; Arampatzis y cols. 2002). Siguiendo esta línea, el estudio biomecánico planteado en esta Tesis Doctoral permite analizar de manera conjunta diferentes variables cinemáticas y cinéticas durante la recepción tras un “*drop jump*”.

Como se indicó en el apartado de “Resultados” (pág. 140), la recepción del gimnasta en la colchoneta podría ser explicada en tres fases (figura 31):

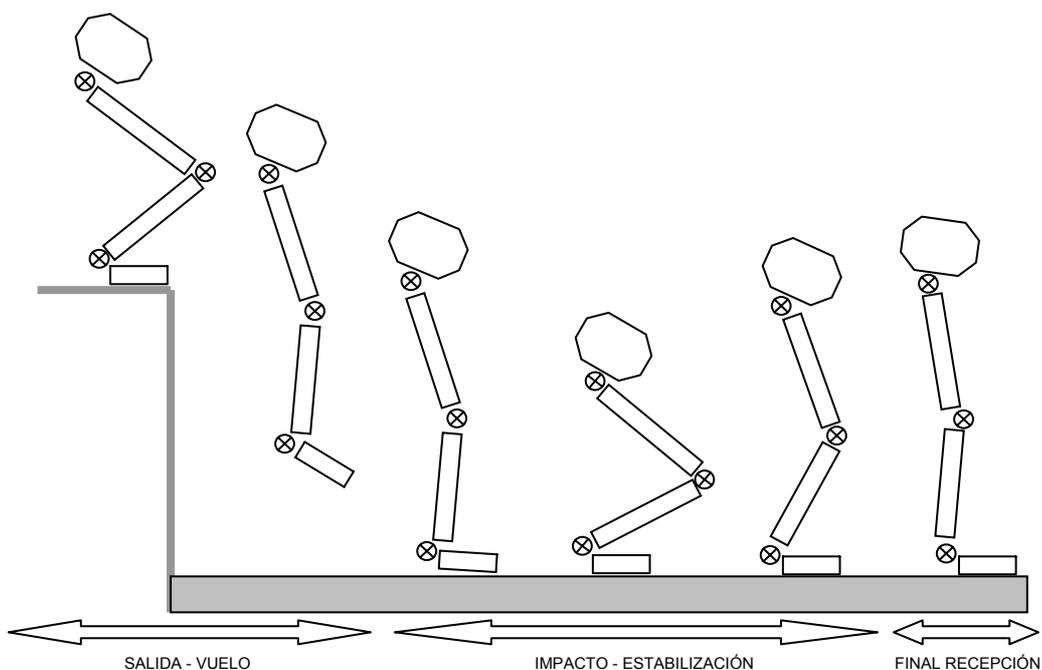


Figura 31.- Fases durante la recepción a una colchoneta tras un "drop jump".

1.- Fase de salida - vuelo:

En esta primera fase, el gimnasta parte con una flexión de cadera, rodilla y tobillo (se producen los primeros máximos de flexión), e inicia la extensión de estas articulaciones hasta abandonar la plataforma de salida, encontrándose, con las articulaciones de cadera y rodilla cerca de la "posición anatómica" y con el complejo tobillo-subastragalina en ligera extensión y supinación durante la fase de vuelo hacia la colchoneta.

2.- Fase de impacto - estabilización:

Es durante esta fase cuando las distintas variables analizadas, poseen las modificaciones más importantes, produciéndose una flexión de las distintas articulaciones mencionadas y pronación subastragalina. Ello permite amortiguar el impacto y estabilizar al gimnasta.

3.- Fase final de la recepción:

En esta fase, la estabilidad tras la recepción sobre la colchoneta se ha conseguido, incorporándose el gimnasta finalmente hasta su posición de bipedestación.

El análisis de los diferentes estudios realizados, permiten una mayor comprensión de la descripción del gesto, así:

- Los estudios de electrogoniometría, permiten conocer los rangos de amortiguación de las articulaciones del miembro inferior. Así, tras el contacto con la colchoneta, la flexión de cadera, rodilla y tobillo, junto con la pronación de la subastragalina, permite un descenso del centro de gravedad. Este descenso del centro de gravedad es controlado por la acción de la muscular inicialmente excéntrica y posteriormente isométrica de la musculatura que atraviesa las citadas articulaciones. De esta manera, el impacto es absorbido, en gran parte, por el sistema músculo-tendinoso, evitando que el tejido óseo y articular sufra un estrés potencialmente peligroso (Llana, 1998). Una vez alcanzando su punto más bajo, inicia una nueva extensión hasta estabilizarse sobre la colchoneta. De entre las diferentes relaciones encontradas, destaca que durante el contacto con la colchoneta, se observa como cuanto más próxima esté la rodilla de la posición anatómica antes del impacto, mayor será la pronación de la articulación subastragalina durante la fase de impacto-estabilización.
- Los estudios de presurometría muestran como, a pesar que en gimnasia no se utilizan zapatillas, ya que su empleo podría suponer una limitación de movilidad (por ejemplo entre las falanges), el hecho de que las plantillas utilizadas sean muy delgadas y flexibles, y a que el equipo de adquisición utilizado es pequeño y ligero, ha permitido describir la distribución de las presiones plantares durante la recepción con mayor precisión y exactitud que los estudios realizados hasta la fecha. Este conocimiento, puede ser de gran ayuda para comprender ciertos factores de lesión, así como la mecánica empleada por el gimnasta para estabilizarse sobre la colchoneta.

Los resultados de estos estudios, muestran un mismo patrón de presiones durante la fase de impacto - estabilización en la colchoneta (Gráficas 26 y 27), con elevadas presiones en la zona del talón (presiones medias de 602.23 ± 100.96 Kpa), seguido de presiones más bajas en la zona media y externa del pie (329.14 ± 62.30 Kpa y 117.62 ± 28.75 Kpa), y en la cabeza del primer metatarsiano (C1MT) se registran presiones de valor intermedio (400 ± 46.63 Kpa).

La obtención de un mismo patrón durante la recepción, y la reducción de las zonas anatómicas del pie a cuatro componentes principales que explicarían con un 83,8 % de la varianza total de las presiones plantares durante la recepción, permite simplificar en futuros estudios cuatro zonas de análisis (Figura 24). Estas cuatro zonas son: el “retropié” y el “antepié” que están inversamente relacionados, es decir, cuando los valores de presión aumentan en una, disminuyen en la otra, una tercera zona “mediopié” que muestra una relación inversa con el talón externo, lo cual puede indicar un mecanismo de caída o impacto poco controlado y, finalmente, una cuarta zona “pie externo” que relaciona las presiones de la parte más externa del pie con el resto de dedos, pudiendo indicar esta componente el grado de estabilidad que el gimnasta consigue durante la recepción.

- Los estudios de acelerometría, permitieron conocer como las magnitudes de las aceleraciones obtenidas en tibia se mostraron acordes con la literatura consultada (Nigg. 1985; Brian y cols. 2000), siendo en todos los casos, de mayor magnitud que las obtenidas en la cabeza. Sin embargo, en los estudios de dinamometría el patrón F/T difiere bastante con los reportados en la literatura (Brizuela. 1996; Llana, 1998; Bauer y cols. 2001). El motivo de esta discrepancia con la literatura puede ser debida a la diferencia en rigidez y estabilidad de las superficies en las que se realiza la recepción. Así, en superficies rígidas y no deformables, aparecen dos picos de impacto correspondientes al apoyo del antepié y talón respectivamente, siendo el segundo de mayor magnitud. Sin embargo, al recepcionar sobre una superficie amortiguadora (más blanda y deformable), como es el caso de las colchonetas, el individuo no sólo tiene que amortiguar sino que, también, tiene que estabilizarse. De esta manera, aparece un patrón donde el primer pico es mayor que el segundo.

Estos estudios de dinamometría, permitieron además determinar la magnitud del impacto en función de las veces que tenía que soportar el gimnasta su peso corporal (BW), oscilando los valores entre 6.1 BW y 7.3 BW. Estos resultados son similares a los de la literatura para alturas cercanas a los 0.80 m, tales como: alturas de 0.72 m entre 6.4 BW y 6.3 BW (Ózgüven y cols. 1988) y alturas de 0.62 m unos 6.72 BW (Zhang y cols. 2000), y mayores que cuando se salta y recepciona a la misma altura: 2.8 ± 0.2 BW (Brizuela. 1996) y 2.52 ± 0.04 BW (Llana. 1998).

A modo de conclusión, en esta descripción biomecánica de la recepción, se observa como, durante la recepción en la colchoneta se produce un aumento de las fuerzas de reacción del suelo y de las aceleraciones en tibia y cabeza, obligando al gimnasta a realizar una serie acciones que le permitan reducir éstas elevadas magnitudes, como por ejemplo realizar una mayor flexión en las articulaciones del miembro inferior. En este sentido, amplios rangos de movimientos, elevadas aceleraciones y fuerzas de reacción pueden ser considerados factores de riesgo en el gimnasta, lo que podría producir algún tipo de lesión. Por lo tanto, y coincidiendo con los resultados obtenidos en los estudios de opinión, las características más importantes que debería tener toda colchoneta serían una adecuada amortiguación de impactos y una adecuada estabilidad. Ambos aspectos repercutirán positivamente tanto en el rendimiento deportivo como en la prevención de lesiones.

4.2.2.- Análisis de los principales mecanismos de lesión durante la recepción.

- *Estudio de la amortiguación de las fuerzas de impacto.*

El estudio de las distintas variables biomecánicas analizadas durante la recepción, ha permitido conocer como afectan al gimnasta las elevadas magnitudes de impacto, así como,

explicar que mecanismos o acciones realiza el gimnasta para reducir estos impactos. En este sentido:

Si durante la recepción, la componente vertical de las fuerzas de reacción del suelo es elevada, los resultados muestran como la magnitud de las aceleraciones registradas en tibia y cabeza aumentan considerablemente y en breve tiempo. Esto indica la rapidez con la que se ha desarrollado la recepción y, posiblemente, una escasa adaptación del gimnasta para reducir el impacto. Además, los resultados también muestran una correlación significativa ($p < 0.01$) entre la deceleración obtenida en los ensayos mecánicos (foto 4) con: una elevada aceleración en el primer máximo de cabeza ($r = 0.386$) y con una elevada presión en la zona del talón ($r = 0.343$).

Esta relación entre la deceleración obtenida en los ensayos mecánicos y el aumento de las presiones en la zona del talón, podría significar un mecanismo de caída o impacto poco controlado, debido a que el gimnasta ha tenido poco tiempo para reaccionar y reducir las elevadas magnitudes de impacto.

Entre los mecanismos propios con los que el gimnasta cuenta para reducir las elevadas fuerzas de impacto y las consecuentes aceleraciones en tibia y cabeza, se encuentran las diferentes estructuras articulares y músculo-tendinosas del miembro inferior. En función del rango de movimiento de las articulaciones de cadera, rodilla y complejo tobillo-subastragalina las fuerzas de impacto podrían ser de una mayor o menor magnitud. Al respecto, Sussman y cols. (1988), muestran como las principales articulaciones utilizadas para reducir/amortiguar las fuerzas de impacto tras un salto son la rodilla y tobillo, siendo especialmente mayor la participación del tobillo cuando la superficie de recepción posee una escasa propiedad amortiguadora, independientemente de la flexión de rodilla (Arampatzis y cols., 2002) y altura desde la cual se recepcione (Farley y cols. 1991; Devita y cols. 1992; Zhang y cols. 2000). En este sentido, las diferencias estadísticamente significativas encontradas en el mínimo de flexión del tobillo ($^{\circ}$ MNF/ET) cabe atribuir las a las diferentes propiedades de las colchonetas, dado que la altura del salto siempre fue la misma. Así, en las colchonetas más rígidas el rango de movimiento del tobillo tras el impacto fue de mayor magnitud que en las colchonetas más blandas.

Por lo tanto, una deficiente capacidad de amortiguación de la colchoneta, influye en la técnica de recepción del gimnasta pudiendo influir tanto en su rendimiento deportivo como en la posibilidad de sufrir lesiones. En este sentido, la norma únicamente establece criterios para la amortiguación de impactos, sin considerar otros efectos que se producen en el gimnasta como:

- Los rangos de movimiento de las articulaciones de cadera, rodilla y complejo tobillo-subastragalina.

- Las magnitudes de aceleración en tibia-cabeza, y fuerzas transmitidas al cuerpo en breves instantes de tiempo.
- La estabilidad del gimnasta dependiendo del comportamiento de las presiones plantares.
- *Estudio de la estabilidad durante la recepción.*

Entre las características que los gimnastas señalaban como importantes en una colchoneta, destaca el comportamiento areaelástico y homogéneo de la superficie, independientemente de la zona de impacto. Dicha variable no fue analizada en los estudios mecánicos, pero sí en los biomecánicos.

El estudio de la estabilidad permite conocer que efectos o modificaciones se producen en la biomecánica de la recepción del gimnasta, así Arampatzis y cols. (2002), indican que el pie adapta su cinemática en función de las características de deformación de la superficie. En este sentido, si se analizan los resultados obtenidos en los valores medios de presión por zona, se observa como las colchonetas con mayores índices de deformación en los ensayos mecánicos (colchonetas 4, 5 y 6) poseen una menor presión en la zona del talón y planta media, aumentando la presión en la zona delantera del pie, ocurriendo lo contrario en las colchonetas con menores índices de deformación (colchonetas 1, 2 y 3). Comparando estos resultados con los de Arampatzis y cols. (2002), donde las máximas fuerzas de reacción se obtuvieron en la zona delantera del pie en las colchonetas de mayor deformación, se puede concluir que las colchonetas con mayores índices de deformación producen que el gimnasta aumente la presión en las zonas delanteras del pie para estabilizarse tras el impacto. No obstante, no se observan correlaciones significativas entre deformación y presión en las zonas delanteras del pie, pero sí ($p < 0.05$) entre una peor percepción de estabilidad y la presión en la zona delantera del pie ($r = -.605$).

Por lo tanto, en aquellas colchonetas percibidas como más inestables, el gimnasta se estabiliza sobre las zonas delanteras y medias del pie y adoptar cuanto antes, la posición de bipedestación. Además, la falta de estabilidad y la mayor deformación de la colchoneta también implica unos mayores rangos de movimiento y de amortiguación de las fuerzas de impacto, tal y como muestran otros estudios. Así, los resultados del presente trabajo son coincidentes con los de McNitt-Gray. (1994), quien analizó la flexión de cadera, mostrando como ésta fue cada vez mayor al ser comparada en distintas superficies de recepción. Por lo tanto, se podría decir que la flexión de cadera durante la fase de estabilización es mayor a medida que la deformación de la superficie aumenta. En cuanto a la rodilla, Devita y cols. (1992), Dufek y cols. (1990), Stakoff y cols. (1988) y McNitt-Gray y cols. (1994), muestran como la flexión de rodilla aumenta con la deformación de la superficie igual que los resultados presentados.

La posible relación entre un aumento de la deformación en la colchoneta y el aumento de presión en la zona delantera del pie, también podría ser justificada si se analiza el movimiento de flexo/extensión y pronosupinación del complejo tobillo-subastragalina, donde los resultados muestran mayores índices de flexión y pronación en la fase final de la recepción de algunas colchonetas, fundamentalmente en la colchoneta nº 6 (con mayores índices de deformación en los ensayos mecánicos). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Arampatzis y cols. (2002), donde se observa una mayor pronación del pie, fundamentalmente en su zona media (articulaciones calcaneocuboidea y talonavicular), al recepcionar en colchonetas con una mayor deformación.

En conclusión, la norma únicamente establece criterios mediante ensayos mecánicos de deformación estática y dinámica, sin considerar que la estabilidad de la colchoneta se encuentra relacionada con la deformación de la misma, y cuyos efectos en el gimnasta, además de un aumento de las presiones plantares en su zona delantera, reducción de las fuerzas de impacto y reducción de las aceleraciones en tibia-cabeza, suponen una serie de cambios en el rango articular del gimnasta que pudieran causar lesión.

4.2.3.- Validez de los criterios y de la metodología de ensayo según norma.

Como previamente se ha discutido, existen algunas diferencias entre lo que el gimnasta percibe, los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos y los obtenidos en los ensayos biomecánicos. En este sentido, si los ensayos mecánicos son los únicos que se realizan para establecer criterios según norma, tales ensayos sirven únicamente para predecir el comportamiento de la colchoneta ante un impacto no real del gimnasta (Nigg, 1990; Gros y Leikov, 1994) por lo que su validez para simular la recepción de un gimnasta pueda estar en entredicho.

Los estudios de Nigg (1990), y especialmente los de Gros y Leikov (1994), en su crítica a la metodología FIG (FIG -1985; con procedimientos similares a los empleados en la EN 12503), se observa un desacuerdo generalizado en cuanto a la validez de los procedimientos e instrumental empleados para determinar la deceleración y deformación en una colchoneta, ya que posiblemente no sean los más adecuados para comparar y simular las cargas reales que ocurren durante la recepción.

Evidentemente, si se comparan las alturas desde las cuales se inician algunas recepciones: 3.95 ± 0.16 m (Geiblinger y cols., 1995) o las fuerzas de impacto que obligan al gimnasta a soportar de 10-18 veces su peso corporal (McNitt-gray, 1993), tales magnitudes distan mucho de las que se generan actualmente en los ensayos normativos. Pues una masa de 20 Kg que parte desde una altura máxima de 80 cm, y que debe generar unas fuerzas de

impacto $\leq 3750\text{N}$ (FIG 1994) suponen unas 5.38 veces el peso corporal, para un gimnasta de 70 Kg). En este sentido, si se compara con las veces el peso corporal, entre 6.4 BW y 6.3 BW para alturas de 0.72 (Ózgülven y cols. 1988), entre 8.5 ± 2.2 BW tras realizar un drop jump al suelo desde una altura 61 cm (Bauer y cols., 2001), o las obtenidas en esta Tesis Doctoral, entre 6.1 BW y 7.3 BW desde una altura de 80 cm, se observa como ni la masa ni las alturas empleadas en los ensayos mecánicos son capaces de generar fuerzas de impacto similares a las alcanzadas por el gimnasta en una recepción.

En este sentido, se muestra la necesidad de evaluar las propiedades de la colchoneta considerando la biomecánica del gimnasta durante la recepción (Lees, A. 1981; Gross y Nelson, 1987; Panzer, 1987; Dufek y bates, 1990; J.L McNitt-Gray, 1993), ya que el conocimiento de las variables cinemáticas y cinéticas durante la recepción del gimnasta podría contribuir al desarrollo de nuevos instrumentales de ensayo más ajustados al contexto real, tal y como Gros y Leikov (1994) plantean al utilizar el “Artificial Berlin Athlete Machine” como instrumental de análisis en otras superficies (por ejemplo, la normativa I.A.A.F para las pistas de atletismo) para analizar la absorción de impactos simulando el impacto de un atleta de 80-90 Kg.

Los resultados de la presente Tesis Doctoral muestran que los gimnastas son capaces de identificar, percibir y valorar diferentes propiedades en las colchonetas como por ejemplo, una mayor o menor deformación. Existen además otras propiedades, como son las velocidades de recuperación y el comportamiento areaelástico de la superficie, consideradas como importantes por los gimnastas que no son analizadas por la normativa actual. Por lo tanto, y respondiendo a la primera hipótesis de esta Tesis Doctoral, no todos los aspectos considerados por los gimnastas como importantes en una colchoneta son analizados por la norma actual.

En cuanto al análisis general de los resultados biomecánicos, los ensayos normativos sí que podrían predecir fuerzas y aceleraciones pero no rangos articulares, por lo que no se ajustan a lo que ocurre realmente durante la recepción en las colchonetas, ya que en función de sus propiedades, la biomecánica de la recepción varía; así las colchonetas que tienden a reducir las elevadas fuerzas de impacto con aumentos en la deformación, comprometen la estabilidad del gimnasta dado que los rangos articulares empleados son mayores, pudiendo llegar a ser lesivos. Las colchonetas que no deforman, son más rígidas, pudiendo ser un factor de riesgo los rangos articulares empleados para compensar las elevadas aceleraciones y fuerzas de impacto.

En conclusión, los criterios empleados actualmente por la norma para analizar el comportamiento de una colchoneta en cuanto a niveles de deceleración, deformación y devolución de energía, deberían completarse con distintas variables biomecánicas, donde se analizaran, entre otros aspectos, los rangos articulares empleados para reducir las elevadas fuerzas de impacto y los efectos de la inestabilidad. De este modo, mediante el análisis de estas variables se conocerían los efectos producidos en el gimnasta por los dos mecanismos de lesión más importantes; las elevadas magnitudes de impacto y la inestabilidad en la colchoneta. En este sentido, los resultados obtenidos en la presente Tesis Doctoral analizando variables de carácter mecánico, biomecánico y de percepción, muestran que tanto la cinemática como la cinética de la recepción de los gimnastas, se ven influenciadas por las características de la colchoneta. Esto afecta tanto al rendimiento como a la epidemiología, por lo que deberían tenerse en cuenta en futuros estudios y normativas.

ÍNDICE CONCLUSIONES

5.- CONCLUSIONES.....	180
5.1.- Conclusiones metodológicas.....	181
5.2.- Conclusiones derivadas de los resultados.....	182
5.2.1.- Aspectos y propiedades más importantes en una colchoneta.....	182
5.2.2.- Biomecánica de la recepción y análisis de los principales mecanismos de lesión.....	182
5.2.3.- Validez de los ensayos normativos para prevenir los mecanismos de lesión.....	183
5.3.- Futuras líneas de investigación.....	184

5.- CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones de la presente Tesis Doctoral, ordenadas según la clase de aportación con que contribuyen al aumento del conocimiento sobre los temas estudiados. De este modo, las conclusiones se dividen en tres apartados:

5.1.- Conclusiones metodológicas: las cuales destacan, de entre los métodos empleados, aquellos que representan un avance en la forma de estudio del tema.

5.2.- Conclusiones derivadas de los resultados: las cuales destacan los hallazgos más importantes y sus implicaciones prácticas, respecto a los objetivos de la Tesis Doctoral.

5.3.- Futuras líneas de investigación: las cuales destacan aspectos que han surgido y sugieren el tema de estudio de futuros trabajos relacionados con éste.

5.1.- CONCLUSIONES METODOLÓGICAS.

Las conclusiones de carácter metodológico más destacables son:

- Se ha aplicado parcialmente la metodología QFD, tradicionalmente empleada en el campo de la ergonomía para el desarrollo de productos orientados a los usuarios. Esta metodología, junto con los paneles de usuarios y expertos como herramienta de apoyo, ha permitido conocer cuales son las especificaciones más valoradas en el diseño de una colchoneta, propuestas técnicas para su fabricación y desarrollo de una nueva muestra de colchonetas.
- Se ha diseñado y puesto a punto el instrumental necesario para analizar las propiedades mecánicas de las colchonetas para gimnasia, según criterios normativos EN 12503, en cuanto a niveles de deceleración, deformación y devolución de energía, permitiendo seleccionar una muestra de colchonetas con diferentes propiedades.
- Se ha desarrollado una metodología, procedimiento de ensayo y sincronización de diverso instrumental necesario para analizar las distintas variables cinemáticas y cinéticas durante la recepción en una colchoneta. Esto permite generar criterios en las colchonetas que reduzcan las lesiones durante la recepción en gimnasia sin disminuir el rendimiento deportivo.

5.2.- CONCLUSIONES DERIVADAS DE LOS RESULTADOS.

En el presente apartado se exponen las conclusiones derivadas de los resultados, según los objetivos planteados en esta tesis:

5.2.1.- Aspectos y propiedades más importantes en una colchoneta.

▪ Se han detectado, como aspectos más importantes en el diseño de una colchoneta, los siguientes:

- La amortiguación y absorción de energía.
- La estabilidad de la superficie durante la recepción.
- Los acabados sobre la superficie de la colchoneta: con colores atractivos, evitando la abrasión de la piel en la planta del pie y sin huecos o vacíos entre las uniones de colchonetas.
- La facilidad de limpieza y transporte.

Estos aspectos se relacionan, según los expertos, con las propiedades de los materiales empleados en la colchoneta y, fundamentalmente, con la homogeneidad mecánica y la areaelasticidad de la superficie.

▪ Se ha observado como los gimnastas son capaces de percibir las propiedades de una colchoneta, apreciado la relación entre deformación y devolución de energía (relacionada con el mecanismo de lesión por elevadas magnitudes de impacto), así como entre estabilidad y velocidad de recuperación de la colchoneta (relacionada con lesiones por inestabilidad en la colchoneta).

5.2.2.- Biomecánica de la recepción y análisis de los principales mecanismos de lesión.

▪ Se ha descrito la biomecánica de la recepción del gimnasta tras un “*drop jump*” atendiendo a sus tres fases, y en función de diferentes variables biomecánicas y de percepción. En este sentido:

- Referente a los estudios de electrogoniometría realizados, éstos han permitido conocer los rangos de movimiento en las articulaciones del miembro inferior. Así, durante la fase de vuelo, las articulaciones de cadera y rodilla adquieren valores próximos a la posición anatómica, mientras que el del complejo tobillo-subastragalina se encuentra en extensión y supinación. Posteriormente, durante la fase de impacto y estabilización sobre la colchoneta, las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo se flexionan, y la subastragalina prona.

- Referente a los estudios de presurometría, se observa como los gimnastas presentan el mismo patrón de presiones plantares durante la recepción. Se ha dividido la planta del pie en cuatro zonas, encontrándose las mayores presiones en la zona del talón, menores en la zona media y externa del pie, e intermedias en la zona delantera del pie, fundamentalmente el área de la cabeza del primer metatarsiano.
- Respecto a los estudios de acelerometría, se observa un patrón repetitivo con dos picos máximos, tanto en tibia como en cabeza, el segundo de menor magnitud que el primero. El hecho de que el primer pico sea de mayor magnitud que el segundo, indica que la mayor parte de la amortiguación se realiza en el primer contacto con la colchoneta.
- Respecto a los estudios de dinamometría, el patrón obtenido para la componente vertical de las fuerzas de reacción, muestra un primer pico de elevada magnitud, seguido de una meseta de menor magnitud. Estos resultados confirman lo citado en los estudios de acelerometría.
- Se han analizado mediante estudios de amortiguación de las fuerzas de impacto y estabilidad de la colchoneta, los principales mecanismos de lesión en gimnasia, en sentido:
 - Una deficiente amortiguación de las fuerzas de impacto por parte de la colchoneta implica al gimnasta realizar una recepción con menores rangos de movimiento articular, soportar elevadas fuerzas de impacto y elevadas magnitudes en las aceleraciones de tibia-cabeza, así como una mayor posibilidad de caída debido al impacto con talón sobre la colchoneta.
 - La falta de estabilidad durante la recepción en la colchoneta, asociada con una mayor deformación de la misma, pese a reducir las fuerzas de impacto y las aceleraciones en tibia-cabeza, el riesgo de sufrir una lesión se relaciona con el aumento de tiempo empleado por el gimnasta para finalizar la recepción con una mayor presión, flexión y torsión en la zona delantera del pie.

5.2.3.- Validez de los ensayos normativos para prevenir los mecanismos de lesión.

- Se observa como no todos los aspectos considerados importantes por los gimnastas, y que potencialmente pueden producir una lesión, son evaluados por la normativa. Entre ellos destaca la velocidad de recuperación de la colchoneta y el comportamiento homogéneo y areaelástico de la superficie, relacionados con la estabilidad.

- Se observa como los gimnastas son capaces de percibir y evaluar la velocidad de recuperación de la colchoneta tras la recepción, aspecto no considerado en la actual normativa, ya que no establece ningún criterio en esta propiedad.

- Se observa como los ensayos mecánicos según norma, no simulan impactos cuyas magnitudes sean similares a las generadas por los gimnastas.

- Pese a que los gimnastas son capaces de percibir las propiedades de una colchoneta, los resultados no muestran una correlación entre lo percibido por los gimnastas y los resultados de los ensayos mecánicos, pero sí en los biomecánicos.

- Los ensayos mecánicos no contemplan ni evalúan los efectos lesivos que las elevadas aceleraciones de impacto o deformación en la colchoneta podrían originar sobre el gimnasta, ya que la cinemática y cinética de la recepción varía en función del tipo de colchonetas empleadas durante la recepción.

- Finalmente, la evaluación de las propiedades de una colchoneta atendiendo a criterios biomecánicos (y no únicamente mediante ensayos mecánicos), debe permitir no sólo reducir el número de lesiones en gimnasia, sino obtener un mayor rendimiento deportivo durante la recepción.

5.3.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Tras analizar las conclusiones obtenidas en esta Tesis Doctoral y su discusión, han surgido una serie de cuestiones que, por su interés, podrían ser motivo de estudio en futuras investigaciones. En este sentido, se sugiere realizar:

- Estudios donde se analice la biomecánica de la recepción en diferentes colchonetas siguiendo la misma metodología planteada en esta Tesis Doctoral, pero con una muestra de gimnastas femeninas.

- Estudios mecánicos que permitan analizar propiedades como la velocidad de recuperación y areaelasticidad de la colchoneta, mediante nuevos instrumentos mecánicos de ensayo, similares al “Artificial Berlin Athlete Machine”, que genera impactos más acordes con la realidad en gimnasia.

- Estudios en los que se comparen las colchonetas empleadas actualmente en competición y las colchonetas empleadas durante los entrenamientos, así como su relación con las lesiones debidas a elevados impactos o inestabilidad durante la recepción.

- Estudios que simulen mejor los gestos técnicos de los gimnastas, lo cual está muy relacionado con la mejora del instrumental de medida, el cual deberá interferir lo menos posible en el gimnasta y su ejecución.
- Estudios en los que se analicen la incidencia de lesión asociada a elevadas fuerzas de impacto e inestabilidad durante las recepciones así como de rendimiento deportivo, en dos tipos de colchonetas; colchonetas con propiedades establecidas según criterios norma actual y, colchonetas con propiedades según criterios establecidos mediante el análisis biomecánico.

ÍNDICE BIBLIOGRAFÍA

6.- BIBLIOGRAFÍA.....	186
6.1.- Bibliografía citada.....	187
6.2.- Normativa citada.....	195
6.3.- Bibliografía consultada.....	196

6. - BIBLIOGRAFÍA.

6.1. - BIBLIOGRAFÍA CITADA.

- Adrish, J.T. (1985). Knee injuries in gymnastics. En *Clin. Sports Med.* 4: 111-121.
- Alcántara, E; Gámez, J; Pérez, P; Martínez, A; Dueñas, L. Fail mode and effects analysis (FMEA) applied to Biofoot/IBV® Equipment adaptation for long jump. En: Kostas E. Gianikellis, Editor. Proceedings of the XXTH Internacional Symposium on the Biomechanics in Sports; Julio 2002; Cáceres, España. p.306-310.
- Arampatzis, A; Brüggemann, G.P; Klapsing, G.M; Wiehn, M. (2002). A three dimensional lower leg-foot model to determine the influence of various gymnastic mats on foot during landings. En *Medicine and Science in Sport and Exercise.* 130-138.
- Bauer, J.J; Fuchs, R.K; Smith, G.A y Snow, C.M. Quantifying force magnitude and loading rate from drop landings that induce osteogenesis. En *Journal Applied biomechanics.* 2001: 17; 142-152.
- Benno, M.N. (1990).The validity and relevance of test used for the assessment of sports surfaces. En *Medicine and Science in Sport and Exercise.* 131-139.
- Benno,M.N; Marten, B. (1990). On the potential of various approaches in load analysis to reduce the frequency of sports injuries. En *J. Biomechanics.* 23 (1): 3-12.
- Bick, E. M; Copel, J. M. (1950). Longitudinal growth of the human vertebra. En *J. Bone Jt. Surg.* 32-A: 803-814.
- Brian, P; Self, P; Paine, D.(2001). Ankle biomechanics during four landing techniques. En *Medicine & science in Sports & exercise.* 1338-1344.
- Brizuela, G.A. (1996) Aportaciones al diseño de calzado para la práctica de baloncesto: Análisis biomecánico de la influencia de calzado sobre el salto vertical y sobre el rendimiento. [tesis doctoral] Valencia (España). Universidad de Valencia.
- Brizuela, G.A; Llana, S (1987) Herramientas y técnicas para el análisis biomecánico. *El análisis de la práctica deportiva; una visión multidisciplinar.* Promolibro, Valencia.
- Brown, E.W; Witten, W.A; Espinoza,D.M; Witten, C.X; Wilson,J.D; Wisner, D.M; Weise. M; Learman, J (1995) Attenuation of ground reaction forces in dismounts from te balance beam. En *Proceedings XIII International Symposium on Biomechanics in Sport, Canada.* 114-117.
- Brüeggemann, G.P. (1985). Mechanical load on the Achilles tendon during rapid dynamic sport movements. En Perren S.M; Schneider, E. (Ed). En *Biomechanics: Current interdisciplinary research.* 669-674.

- Brüeggemann, G.P. (1994). Biomechanics of gymnastic techniques. *In Sport science review*, 3 (2) 79-120.
- Brukner, P; Khan, K. (1993). *Clinical Sports Medicine*. Sydney: McGraw-Hill Book Company.
- Caine, D; Cochrane, B; Caine, C; Zemper, E. (1989). An epidemiologic investigation of injuries affecting young competitive female gymnasts. *En American Journal of Sports Medicine*. 17 (6): 811-820.
- Caine, C. G; Caine, D. J; Lindner, K. J. (1996). Epidemiology of sports injuries. *En Human Kinetics*. Champaign.
- Caine, J.D; Lindner, J.K; Mandelbaum, B.R; Sands, W (1996) *Gymnastics*. *En Epidemiology of sports injuries*. Caine, D.J.; Caine, C.G.; Lindner, K.J. (Eds). Champaign (IL). *Human Kinetics* . 213-246.
- Ciddings, V. L; Beaupré, G.S; Whalen, R.T; Capter, D.R (2000). Calcaneal loading during walking and running. *En Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32: 627-634.
- Clarke, T.E; Frederick, E.C; Cooper, L.B. (1983). Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running. *En International Journal of Sports Medicine*. 4: 247-251.
- Denoth, J; Nigg, B.M. (1981). The influence of various sports floors on the load on lower extremities. *En Morecki, A; Fidelus, K; Kedzior, K; Wit, S (Ed). Biomechanics VII-B*. Baltimore: University Park Press. 100-105.
- Devita, A; Skelly,W.A (1992) Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *En Medicine and Science in Sports and Exercise*. U.S.A. 108-115.
- Dixon, M; Fricker, P. (1993). Injuries to elite gymnasts over 10 yr. *Med. En Med. Sports Exer. 25 : 1322 – 1329*.
- Dueñas, L; Martínez, A; Ferrándis, R; Pérez, P; Gámez, J. El análisis de las presiones plantares en deportistas de élite: ejemplos prácticos. *En: Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport. Universitat de València, Editores. Comunicació en el II Congrés de Ciències de la Activitat física y el deporte; 22 -25 de Novembre 2001; València, Espanya. p.235 -243*.
- Dufek, J.S; Bates, B.T (1990). The evaluation and prediction of impact forces during landing. *En Medicine and Science in Sports and Exercise*. 22 (3): 370-377.
- Dufek, J.S; Bates, B.T (1991) Biomechanical factors associated with injury during landing in jump sports. *En Sports Medicine*. 12 (5): 326-337.
- Dufek, J. S; Bates, B.T. (1992). Lower extremity performance models for landing. *En Hum. Mov. Sci*. 11: 299-318.

- Durá, J.V. Análisis biomecánico de los pavimentos deportivos y protocolización de ensayos para su evaluación [tesis doctoral] Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia;1999.
- Durá, J.V; Hoyos, J.V; Lozano, L; Martínez, A (1999) The effect of the shock absorbing sports surfaces in jumping. En *Sports Engineering*; 2:103-108.
- Dura, J.V; Gil, S; Ramiro, J; Vera, P (1996) *Los pavimentos deportivos en España. Servicios de asesoramiento y ensayos. CSD – IBV.*
- Ferris, D.P; Farley, C.T. (1997). Interaction of leg stiffness and surface stiffness during human hopping. En *Appl. Physiol.* 82: 15-22.
- Forner, A; García, A..C; Alcantara, E; Ramiro, J; Hoyos, J.V; Vera, P. (1995). Properties of shoe insert materials related to shock wave transmission during gait. *Foot & Ankle Int.* 16 (12) 778 – 786.
- Frederick, E.C. (1983). Measuring the effect of shoes and surfaces on the economy of locomotion. EN Nigg, B; Kerr, B.A. (Eds). *Biomechanical aspects of sport shoes and playing surfaces.* Calgary: University printing. 93-106.
- Fukuda, H. (1988). Biomechanical analysis of landing surfaces with different stiffnesses. Groot y cols (Ed). *En Biomechanics XI-B.* Free University Press, Amsterdam. 679-684.
- Gatto, F; Swannell, P; Neal, R (1991) A force indentation relationship for gymnastic mats. En *Journal of Biomechanics Engineering.* 114; August: 338 – 345.
- Geiblinger,H; McLaughlin, P.A; Morrison, W.E (1995) Landing Kinematics of Horizontal bar dismounts. En *Proceedings XIII International symposium on Biomechanics in Sport, Canada.* 132-136.
- Geiblinger,H.; McLaughlin,P.A.; Morrison,W.E. (1995) Landing Kinematics of double back somersaults on the floor. En *Proceedings XIII International symposium on Biomechanics in Sport, Canada.* 137-141.
- Geiblinger,H; McLaughlin,P.A; Morrison,W.E (1995) Take-off characteristics of double back somersaults on the floor. En *Proceedings XIII International Symposium on Biomechanics in Sport, Canada.*142-146.
- Geiblinger,H; McLaughlin,P.A; Morrison,W.E (1995) Take-off kinematics of beam dismounts. En *Proceedings XIII International Symposium on Biomechanics in Sport, Canada.*155 – 159.
- Gervais, P (1993). Calculation of reaction forces at the hands on the horizontal bar from position data. En *ISBS (ed), XIV International Congress on Biomechanics, Paris.* 468 – 469.
- Goldstein, J.D; Berger, P.E; Windler, G.E; Jackson, D.W. (1991). Spine injuries in gymnasts and swimmers: an epidemiologic investigation. En *J. Sports Med.* 19: 463 – 468.

- Gollhofer, A. (1987). Innervation characteristics of m. gastrocnemius during landing on different surfaces. En Jonsson (Ed). *Biomechanics X-B. Human Kinetics*. Champaign. 701-706.
- Goodway, J. D; McNaught-Davis, J.P; White, J. (1989). The distribution of injuries among young female gymnasts in relation to selected training and environmental factors. In; Beunen, G (Ed). *Children and Exercise XIV. Band 4. Schriftenreihe der Hamburg-Mannheimer-Stiftung fur Informationsmedizeft Enke Verlag*.
- Gross, T.S; Nelson, R.C. (1988). The shock attenuation role of the ankle during landing from vertical jump. *Med.Sci.Sports Exerc.* 20 (5): 506 – 514.
- Gros, H; Leikov, H (1994). Safety considerations for gymnastics landing mats –properties, construction, standards and use. En *Proceedings of the 12th symposium of the International Society of Biomechanis in Sports*, Barabas, A y Fabian, G (Eds.) 1995; 194-197.
- Hall, S. J. (1986). Mechanical contribution to lumbar stress injuries in female gymnastics. En *Med. Sci. Sports Exer.* 18: 559-602.
- Harwood, M.J.; Kerwin, D.G.; Yeadon, M.R. (1991) Release mechanics in the triple tucked backward salto dismount from high bar. En *Proceedings XIII International congress on Biomechanics*. Perth (Australia) Book of abstracts. 13; 73-74.
- Henning, E.M; Hartmut,J.R (1987) Loads on the human body during trampoline exercises. En *Proceedings XI International congress on Biomechanics*. Canada:7-B:736-739.
- Huaiying, Y; Guobei, M; Dewei, M; Liying, D; Peigao, S (1995) A comprehensive study on the straight body dismount with 3 rotations on the Horizontal bar. En *Proceedings. XIII International symposium on Biomechanics in Sport*. Canada: 164-168.
- Hume, P (2001) Minimising injuries in gymnastics activities. *Departament of sport and exercice*. Auckland, Univ. (New Zealand).
- Hunter, L. Y; Torgan, C. (1983). Dismounts in gymnastics: should scoring be reevaluates?. En *J. Sports Med.*11: 208-210.
- Hyoku, C; Shibukawa, K; Hashihara, Y; Yokoi, T; Kawabata, A. (1984). Effect of dropping height on a buffer action in landing. En *Proceedings for Japanese Society of Biomechanics*. Japanese Society of Biomechanics. Nagoya, Japan. 203-207.
- Kerr, G. A; Minden, H. (1988). Psychological factors relates to the occurrence of the athletic injuries. En *Journal of Sport and Exercise Psychology*. 10: 167-173.
- Kerwin, D.G.: Yeadon, M.R; Lee, S.C. (1990). Body configuration in multiple somersault high bar dismounts. En *International Journal of Sport Biomechanics*. 6: 147-156.
- Kolt, G. S; Kirkby, R. J. (1994). Injury, anxiety and mood in competitive gymnasts. En *Perceptual & Motor Skills*. 78 (3): 955-962.

- Kopp, P. M; Reid, J. G. (1980). A force torque analysis of giant swings on the horizontal bar. En *J. Appl. Sports Sciences*. 5(2): 98-102.
- Light, L.H; McLellan, G.E. (1977). Skeletal transient associated with heel strike. En *J.Physiol*. 272: 7-10.
- Light, L.H; McLellan, G.E; Klenerman, L. (1980). Skeletal transients on heel strike in normal walking with different footwear. En *J. Biomech*. 13: 477-480.
- Linder, K, J; Caine, D.J. (1990). Injury predictors among female gymnasts' antropometric and performance characteristics. En Hermans, G.P; Mosterd, W.L (Eds). En *Sports, Medicine and health*. Amsterdam: Excerpta medica. 136-141.
- Linder, K, J; Caine, D.J. (1990). Injury patterns of the female competitive club gymnasts. En *Canadian Journal of Sports Sciences*. 15 (4): 254-261.
- Llana, S (1998) Análisis del calzado técnico de tenis atendiendo a criterios epidemiológicos, de confort y biomecánicos. Tesis doctoral] Valencia (España). Universidad de Valencia.
- Lees, A. (1981) Methods of impact absorption when landing from a jump. En *Engineering in Medicine*. MEP; 10 (4); 207-211.
- Lowry, C.B; Leveau, B. F. (1982). A retrospective study of gymnastic injuries to competitors and noncompetitors in private clubs. En *J. Sports Med*. 10: 237-239.
- McAuley, E; Hudach, G; Shiels, K; Albright; Garrick, J; Requa, R; Wallace, R.K. (1987). Injuries in women's gymnastics: the state of the art. En *J. Sports Med*. 15: 558-565.
- McClay, L; Manal, K. (1997). Coupling parameters in runners with normal and excessive pronation. En *J. Appli. Biomech*. 13: 109-124.
- McKinley, P; Pedotti, A. (1992). Motor strategies in landing from a jump: the role of skill in task execution. En *Experimental brain research*. 80, 427-440.
- Mandelbaum, B; Gross, M.L. (1991). Spondylolysis and spondylolisthesis. En: Reider, B., ed. *Sports medicine*. The school-age athlete. Philadelphia: W.B. Saunders; 144 - 156.
- Martínez, A; Pérez, P; Gámez, J; González, J.C; Dueñas, L; Ferrándis, R. Design criteria for soccer footwear on earth pitches. En: Kostas E. Gianikellis, Editor. Proceedings of the XXTH Internacional Symposium on the Biomechanics in Sports; Julio 2002; Cáceres, España. p.589-592.
- McLaughlin, P.A; Gleiblinger, H; Morrison, W.E (1995). Take-off kinematics of beam dismounts. En *Proceedings. XIII International symposium on Biomechanics in Sport*. Canada: 164-168.
- McMahon, T; Greene, P.R. (1979). The influence of track compliance on running. En *Journal of Biomechanics*. 12: 893-904.

- McNitt-Gray, J.L (1991). Kinematics and impulse characteristics of drop landing from three heights. En *International Journal of sports Biomechanics*. 7: 201-204.
- McNitt-Gray, J.L (1993) Kinetics of the lower extremities during drop landings from three heights. En *Journal Applied biomechanics*. 26 (9); 1037-1046.
- McNitt-Gray, J.I; Yokoi, T; Millward, C (1994) Landing strategies used by gymnasts on different surfaces. En *Journal Applied biomechanics*. 10; 237-252.
- McNitt-Gray, J.I; Yokoi, T; Millward, C (1993) Landing strategy adjustments made by female gymnasts in responded to drop height and mat composition. *Journal Applied Biomechanics*. Human Kinetics, Champaign (IL). 9: 173-190.
- McNitt-Gray, J.I; Costa, K; Mathiyakom,W; Requejo,P. (2000) Gender differences in vault location during the artistic gymnastics competition of the 2000 Olympic games implications for improved gymnast/mat interaction. *Biomechanics research laboratory* (Dept. of Kinesiology. Sothern, Univ (California)).
- Meeusen, R; Borns, J. (1992). Gymnastics injuries. En *Sports Med*. 13 (5): 337.356.
- Messier, S.P; Pittala, K. A. (1988). Etiologic factors associatedwith seleccted running injuries. En *Med.Sci.Sports Exerc*. 20: 501-505.
- Munro, C.F; Miller, D.I; Fuglevand, A.J. (1987). Ground reaction forces in running: A reexamination. En *Journal of Biomechanics*. 20. 147-155.
- National Collegiate athletic Association (1986). Injury surveillance System Report 1982-86. *NCAA Report*. Nov.17, Kansas.
- National Collegiate athletic Association (1994). Men's and women's gymnastics injury surveillance system. Kansas:NCAA report. 1993-1994.
- Nigg, B.M; Denoth, J; Neukomm, P.A. (1981). Quantifying the load on the human body: problems and some possible solutions. En Morecki, A; Fidelus, K; Kedzior, K; Wit, A. (Ed). En *Biomechanics VII-B*. University Park Press.
- Nigg, B. M. (1985). Biomechanics, load analysis and sport injuries in the lower extremities. En *Sports Medicine*. 2: 367-379.
- Nigg, B.M; Yeadon, M. R. (1987). Biomechanical aspects of playing surfaces. En *Journal of Sports Science*. 5: 117-145.
- Nigg, B.M; Yeadon, M. R; Herzog, W. (1988). The influence of construction strategies of sprung surfaces on deformation during vertical jumps. En *medicine and Science in Sports and Exercise*. 10; 396-402.
- Nigg, B.M. (1990). The validity and relevance of the test used for the assessment of sports surfaces. En *Med. Science in Sports and Exercise*. 22; 131-139.

- Özgümen, H.N; Berme, N (1988) An experimental and analytical study of impact forces during human jumping. En *Journal of Biomechanics*. 21(12);1061-1066.
- Panzer, V.P.(1987). Dynamic lower extremity load characteristics of landing. Doctoral Dissertation. University of Oregon, Department of Physical Education and Human Movement Studies. Eugene, OR. 11-32.
- Panzer, V.P; Wood, G. A; Bates, B.T; Mason, B.R (1988) Lower extremity loads in landing of elite gymnasts. En *XI International congress on Biomechanics*.7-B; 721-735.
- Pettrone, F. A; Ricciardelli, E. (1987). Gymnastic injuries: The Virginia experience 1982-83. En *J. Sports Med*. 15: 59-62.
- Sanders, R.H; Allen,J.B (1991) Timing changes during accommodation to a compliant surface in jumping. En *Proceedings XIII International congress on Biomechanics*; Perth (Australia) Book of abstracts:13; 122-123.
- Sands, W. A. (1984). Coaching women´s gymnastics. En *Human Kinetics*. Champaign, I.L.
- Sands, W. A; Shultz, B. B; Newman, A. P. (1993). Women´s gymnastic injuries. A 5-years study. En *American Journal of Sports Medicine*. 21(2): 271-276.
- Self, B. P; Harris, S; Greenwald, R.M. (2000). Ankle biomechanics during landing impacts on uneven surfaces. En *Foot Ankle*. 21: 138-144.
- Smith, L.D. (1953). Hip fractures. The role of muscle contraction or intrinsic forces in the causation of fractures of the femoral neck. En *Journal of bone and joint surgery*. 5A: 367-383.
- Soler, C. Registro dinámico de la distribución de presiones plantares: diseño y desarrollo de un nuevo sistema de medida. Evaluación de su potencial de aplicación clínica e industrial. [tesis doctoral] Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia.; 2001.
- Schweizer, L (1985) Testing procedures for landing mats, surfaces for floor exercises and vaulting boards. Freiburg (Germany) *Institute for sport and sport science*, University of Freiburg.
- Spiros, G.P (1995) Technique analysis of the 1992 compulsory dismount from the parallel bars. En *Proceedings XIII International Symposium on Biomechanics in Sport*. Canada; 160-163.
- Stacoff, A.; Reinschmidt, C; Nigg, B.M; Van der Bogert, A,J; Lundberg, A; Denoth, J; Stüssi, E. (2000). Effects of foot orthoses on skeletal motion during running. En *Clinical Biomech*. 15: 54-64.
- Stacoff, A.; Nigg, B.M; Reinschmidt, C; Van der Bogert, A,J; Lundberg, A; Stüssi, E; Denoth, J. (2000). Movement coupling at the ankle during the stance phase of running. En *Foot Ankle Intern*. 21: 232-239.

- Sussmann, D.H; Hamioll, J; Miller, M. (1988). Effect of shoe height and profilactic taping on ankle joint motion during simulated basketball rebounding. En *Biomechanics XI-B*. Groot, G; Hollander, A.P; Huijing, P.A; Schenau, G (Ed). Free University Press. Amsterdam, The Netherlands.
- Taffae, D. R; Robinson, T. L; Snow, C. M; Marcus, R. (1997). High-impact exercise promotes bone gain in well trained athletes. En *Journal of bone and mineral reseach*. 12. 255-260.
- Takei, Y; Nohara,H; Kaminura, M (1991) A comparison of techniques used by two groups of elite gymnasts performing a double salto backward tuck dismount from the horizontal bar. En *Proceedings XIII International congress on Biomechanics*. Perth (Australia) Book of abstracts:13; 134-135.
- Vera, P; Hoyos, J.V; Nieto, J. (1985). Biomecánica del aparato locomotor. Martin Impresores. Instituto de Biomecánica de Valencia.
- Vera, P; Hoyos; J. V. (1993). Técnicas instrumentales desarrolladas por el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV) para el análisis de las actividades humanas. Instituto de Biomecánica de Valencia.
- Vain, A (1981) Dynamics of the deformations of the vertebral column and foot of gymnasts. En *Biomechanics VII-B*, Morecki, A; Fidelus, L; Kedizior,K; Wit, A, (Eds) . Baltimore: University Park Press, 1981; 566-572.
- Valiant, G. A; Cavanagh, P. R. (1987). A study of landing from a jump: implications for the design of a basketball shoe. En *Biomechanics IX-B*. Winter, D. A (Ed). Champaign, IL: *Human Kinetics*, 1985. 117-122.
- Voloshin, A.S; Wosk, J. (1982). An in vivo study of low back pain and shock absorption in the human locomotor system. En *J.Biomech*. 15: 21-27.
- Voloshin, A.S; Burguer, C.D; Wosk, J; Arkan, M. (1985). An in vivo evaluation of the leg shock-absorbng capacity. En Winter, D; Norman, R; Wells, R; Hayes, R; Patla, A. (Eds). *Biomechanics IX-B*. Human Kinetics. Champaing, IL. 112-116.
- Wadley, G.H; Albright, J.P (1993). Women´s intercollegiate gymnastics. Injury patterns and “permanent” medical disability. En *J. Sports. Med*. 21(2): 314 – 320.
- Weiker, G. G. (1985). Injuries in club gymnastics. En *Phys. Sportsmed*. 13: 63-66.
- Wiemann, K (1975) Biomechanics of a dismount from the uneven bars. En *International Gymnast*. 1: 58 – 59.
- Witten, W. A; Witen, C. X; Brown, E.W; Wells, R. (1991). The back giant swing on the uneven parallels bars: a biomechanical analysis. En *USGF Sports Science Congress Poceedings*. 1: 12-18.

- Wilson, B.D ; Neal,R.J ; Swnanell, P.D (1987) Sport floors; the response to dynamic loading and the influence of subfloors. En *XI International congress on Biomechanics. 7-B*: 671-678.
- Wosk, A; Voloshin, A.S. (1982). Force wavv transmission trough the human locomotor system. *J. Biomech.* 15, 21-27.
- Zhang, S.N; Bates, B.T; Dufe,J.S (2000) Contributions o lower extremity joints to energy dissipation during landings. *En Medicine and Science in Sports and Exercise.* 812-819.

6.2.- NORMATIVA CITADA.

- Federation International of Gymnastique (1984). Code of points. Germany.
- EN 12503-1: 2000. CEN (European Committee for Standardization). Sport mats – Part 1; Gymnastic mats, safety requirements.
- EN 12053-4: 2000. CEN (European Committee for Standardization). Determination of shock absorption.
- EN 12053-5: 2000. CEN (European Committee for Standardization). Sport mats – Part 5; Determination of the base friction.
- EN 12053-6: 2000. CEN (European Committee for Standardization). Sport mats – Part 6; Determination of the top friction.
- EN 12053-7: 2000. CEN (European Committee for Standardization). Sport mats – Part 7; Determination of static stiffness.
- I.S.O 5905 – 1980 Gymnastic equipment – landing mats (2000 mm x 1250 mm x 60 mm). 1980.
- I.S.O 5903 – 1981 Gymnastics equipment – landing mats and surfaces for floor exercices – Determination of hardness and impact camping. 1981.
- MAG (Men Artistic Gimnastic) 11/12. 2000: 32-34. Manual FIG, apparatus norms. FIG (International Gymnastic Federation).
- WAG (Women Artistic Gimnastic)11/12. 2000: 51-53. Manual FIG, apparatus norms. FIG (International Gymnastic Federation).
- MAG 11 (Men Artistic Gimnastic). Manual FIG, testing procedures. Standard Specification for 20cm landing mats for men artistic gymnastic. 1996; 1-3.
- MAG 12 (Men Artistic Gimnastic). Manual FIG, testing procedures. Standard Specification for 10 cm landing mats for men artistic gymnastic. 1986; 1.

6.3. - BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

- Arampatzis, A; Brüeggemann, G.P; Metzler, V. (1999). The effect of the speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. En *J. Biomechanics*. 32: 1349-1353.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) (2001). Test method F 1931 – 98 Standard test method for characterization of gymnastic landing mats and floor exercise surfaces. West Conshohocken, PA.
- Back, K; Kalms, S.B; Olesen, S; Jorgensen, U. (1994). Epidemiology of injuries in gymnastics. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 4: 148-154.
- Bäumlér, G; Schneider, K. (1989). Biomecánica deportiva; Fundamentos para el estudio y la práctica. Deportes técnicas; Martínez Roca. Barcelona.
- Bestraten, B.M. (1994). La iluminación y el color. En *Ergonomía (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo)*. 69-72.
- Bergquist, K; Abeysekera, J. (1996). Quality Function Deployment (QFD) – A means for developing usable products. En *International Journal of Industrial Ergonomics*. 18: 269-275.
- Boobert, M.F; Van Ingen Schenau, G.J. (1988). Coordination in vertical jumping. En *J. Biomechanics*. 21: 249-262.
- Boobert, M.F; Huijing, P.A; Van Ingen Schenau, G.J. (1987). Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. En *Med. Sci. Sports. Exerc.* 19: 339-346.
- Crowninshield, R.D; Brand, R.A. (1981). The prediction of forces in joint structures: Distribution of intersegmental resultants. En Miller, D.I. (Eds). *Exercise and sports science reviews*. 9: 159-181.
- Dember, N.W.; Warm, S.J. (1990). La predisposición y percepción del color. En *Psicología de la percepción*. Alianza ed. 362-367.
- Dufek, J.S; Bates, B.T. (1990). Regression models for predicting impact forces and knee joint moments and powers during landing. Proceedings of 6th Biennial Conference of the Canadian Society for Biomechanics. August 16-19. Canada. 55-56.
- Durà, J.V; Gil, S; Ramiro, J; Vera, P. (1996). Los pavimentos deportivos en España. Martín Impresores S.L. Consejo Superior de deportes.
- Durà, J.V; Lozano, L; Corner, A; Ramiro, J.; Vera, P. (1996). Impact forces in sports surfaces measured by accelerometric method. FIBA Basketball Promotion News. FIBA Official Bulletin nº1. FIBA, Munich, Germany. 22-24.
- Donskoi, D; Zatsiorski, V. (1988). Biomecánica de los ejercicios físicos. Pueblo y educación. Ciudad de la Habana.

- Garrick, J; Recua, R.K. (1980). Epidemiology of women's gymnastic injuries. *American journal of Sports Medicine*. 8 (4): 261-264.
- Goethe, W.J.V. (1992). El efecto sensible-moral del color. En *Teoría de los colores. Colegio Oficial de arquitectos de Murcia*. Madrid. 203- 214.
- Gruber, K; Rude, H; Denoth, J; Schneider, K. (1998). A comparative study of impact dynamics: wobbling mass model versus rigid body models. En *J. Biomechanics*. 31: 439-444.
- Cross, T.S; Bunch, R.P. (1989). Material moderation of plantar impact stress. En *Med. Sci. Sports Exerc*. 21; 619-624.
- Gutierrez, M. (1998). *Biomecánica deportiva: bases para el análisis*. Madrid (España); Síntesis, S.A.
- Kaelin, X; Stacoff, A; Denoth, J; Stuessi, E. (1988). Shock absorption during landing after a jump. En Groot y cols. (Eds). *Biomechanics XI-B*. Free University press. Amsterdam. 685-688.
- Kapandji, I.A. (1988) Cuadernos de fisiología articular 2. Masson.
- Katz, B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *J. Physiol*. 96; 45-64.
- Lafortune, M.A. (1991). Three-dimensional acceleration of the tibia during walking and running. En *J. Biomech*. 24 (10): 877-886.
- Lafortune, M.A; Cavanagh, P.R; Sommer, H.J; Kalenak, A. (1994). Foot inversion-eversion and Knee kinematics during walking. En *J. Orthp. Res*. 12(3): 412-420.
- Lafortune, M.A; Henning, E; Valiant, G.A. (1995). Tibial shock measured with bone and skin mounted transducers. En *J. Biomech*. 28 (8): 989-993.
- Llana, S; Brizuela, G. (1996). Estudio biomecánico de los impactos en los saltos. Selección. *Revista Española de Medicina de la educación física y el deporte*. 5(2): 103-107.
- Marina, M; Rodriguez, F.A. (1996). Mechanical power and anaerobic capacity of gymnasts during jumping. En Marconnet, P; Gaulard, J; Margaritis, L; Tessier, F. (Ed).
- Matlab (1997). *Matlab: The language of technical computing*. Version 5. The Math Works, Inc.
- *Book of abstracts of the Firts Annual Congress. « Frontiers in Sports Science. The European Perpective*". Niza, Francia. 188-189.
- McKinley, P; Pedotti, A. (1992). Motor strategies in landing from a jump: the role of skill in task execution. En *Experimental Brain research*. 80: 427-440.

- McNitt-Gray, J.L. (1989). The influence of impact speed on joint kinematics and impulse characteristics of drop landings. En Porc: ISB, Gregor, R.J; Zernicke, R.F; Whiting, W.C (Eds). Los Angeles: UCLA.
- McNitt-Gray, J.L. (1992). Biomechanical factors contributing to successful landings. En USGF Bridging the Gap in Sports Science. 9: 19-25.
- McNitt-Gray, J.L. (1994). Kinematic and impulse characteristics of drop landings from three heights. En J. Biomechanics. 7; 201-224.
- McNitt-Gray, J.L (2000). En Zatsiorsky, V.M. (Ed). *Biomechanics in Sport*. Oxford (London): Blackwell Offices; 523-550.
- Miller, D. I; Nelson, R.C. (1973). Biomechanics of sport. A research approach. En Biomechanics V-B. University Park Press. 314-321.
- Mizrahi, J; Susak, Z. (1982). Analysis of parameters affecting impact force attenuation during landing in human vertical free fall. En Eng. Med. 11: 141-147.
- Murray, M.D; Webster, C.A; Stortz, M; Bruno, J; Cove, L. (1986). Fitness class injuries: Floor surface, malalignements and a new "squat test". En *Annals of sports medicine*. 14-19.
- Nigg, B.M; Bobbert, M. (1990). On the potential of varius approaches in load analysis to reduce the frecuency of sports injuries. En *J. Biomechanics*. 23: 3-12.
- Nigg, B.M; Cole, G.K; Nachbauer, W. (1993). Effects of arch height of the foot on angular motion of the lower extremities in running. En *J. Biomechanics*. 26: 909-916.
- Page, A; Porcar, R; Such, M^a J; Solaz, J; Blasco, V. (2001). Nuevas técnicas para el desarrollo de productos innovadores orientados al usuario. Martin Impresores, Instituto de Biomecánica de Valencia.
- Perez, C. (2001). Técnicas estadísticas con SPSS® . Prentice Hall. Madrid.
- Perry, S.D; Lafortune, M.A. (1995). Influences of inversion/eversion of the foot upon impact loading during locomotion. En Clin. Biomech. 10: 253-257.
- Rash, P.J; Burke, R.K. (1986). Kinesiología y anatomia aplicada. El Ateneo, Buenos Aires.
- Ricard, M.D; Veatch, S. (1990). Comparison of the impact forcesin high and low impact aerobic dance movements. International Journal of Sports Biomechanics. 6; 67-77.
- Schweizer, L (1989) Testing procedures for landing mats, surfaces for floor exercises and vaulting boards. Freiburg (Germany) *Institute for sport and sport science*, University of Freiburg.

- Schot, P; Bates, B; Dufek, J. (1994). Bilateral performance symmetry during drop landing: A Kinetic analysis. En *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 9: 1153-1159.
- Sidaway, B; McNitt-Gray, J.L; Davis, G. (1990). Visual timing of muscle preactivation in preparation for landing. *J. Ecol. Psychol.* 3: 443-451.
- Stacoff, A; Kaelin, X; Stuessi, E. (1988). The impact in landing after a volleyball block. *EN Biomechanics 10-B*. Champaign, IL: Human Kinetics. 694-700.
- Steele, J.R; Milburn, P.D. (1987). Ground reaction forces on landing in netball. En *Journal of the human movement studies*. 13: 399-410.
- Steele, J.R; Milburn, P.D. (1988). Effect of different synthetic sport surfaces on ground reaction forces at landing in netball. En *J. Sports Biomech.* 4: 130-145.
- Tant, C.L; Wilkerson, J.D; Browder, K.D. (1989). Technique comparisons between hard and soft landing of young female gymnasts. En Gregor y cols (Ed). *Proceedings of the XIIIth International Congress of Biomechanics*, Los Angeles. Abstract 118.
- Trummel, P. (1991). Shape concept: color percept...Graphics, Geometry, and Gestalt. En *IEEE Transactions on professional communication*. 34 (3). 174-179.
- Uchikawa, H; Uchikawa, K; Boynton, R. (1988). Influence of achromatic surrounds on categorical perception of surface colors. En *Vision Res.* 29 (7): 881-890.
- Vera, P; Hoyos, J; Nieto, J. (1985). *Biomecánica del aparato locomotor*. Martin Impresores, Instituto de Biomecánica de Valencia.
- Voloshin, A.S. J.L (2000). En Zatsiorsky, V.M. (Ed). *Biomechanics in Sport*. Oxford (London): Blackwell Offices; 557-588.
- Weiker, G.G. (1985). Injuries in club gymnastics. *The physician and sportsmedicine*. 4; 63-66.
- Williford, H.N; Richards, L.A; Scharff-olson, M; Brown, J; Blessing, D; Duey, W.J. (1998). Bench stepping and running in women. En *Journal of the sports medicine and physical fitness*. 38: 221-226.
- Wilson, B. D; Swannell, P; Neal, R. (1986). *A biomechanical investigation of gymnastic take-off and landing surfaces*. Canberra, Australia: Australian Sports Commnision.
- Winter, D.A. (1990). *Biomechanics and motor control human movement* (2nd ed). New York: Wiley Interscience.
- Wright, I.C; Neptune, R.R; Van der Bogert, A.J; Nigg, B.M. (2000). The influence of the foot positioning on ankle sprains. En *J. Biomech.* 33: 513 – 519.
- Wright, I.C; Neptune, R.R; Van der Bogert, A.J; Nigg, B.M. (2000). The effects of ankle compliance and flexibility in ankle sprains. En *J. Biomech.* 32: 260-265.

-
- Zatsiorky, V.M; Seluyanov, V. (1993). The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body. En Matsui, H; Kobayashi, K. (Eds). Biomechanis VIII-B. Champaign, IL: Human Kinetics. 1152-1159.
 - Zatsiorky, V.M. (1987). Soft and stiff landing. 10 th International Congress of Biomechanics. Umea. 739 – 743.

ÍNDICE ANEXOS

7.- ANEXOS.....	201
Anexo 1.- Gimnastas, entrenadores y técnicos que participaron en los paneles de usuarios y expertos.....	202
Anexo 2.- Encuesta utilizada en los ensayos biomecánicos.....	203
Anexo 3.- Valores medios de presión de cada zona del pie por colchoneta.....	205

Anexo 1.- Gimnastas, entrenadores y técnicos que participaron en los paneles de usuarios y expertos.

A) Centro de Alto rendimiento de Madrid.

- Amelia Ferro (Responsable de la unidad de biomecánica del C.A.R.I.C.D.- C.S.D).
- Daniel Portero (Director Técnico de la Federación Española de Gimnasia).
- Héctor Ramírez (Entrenador y Seleccionador de la Federación Española de Gimnasia).
- África López (Doctora de la unidad de rehabilitación del C.A.R).
- Vicente Espinosa (Jefe de Servicio de las instalaciones del C.A.R).
- Jesús Carballo y Javier Carballo (Gimnastas de nivel Internacional que entrenan en el C.A.R).

B) Centro de Alto rendimiento de Sant Cugat.

- Alfredo Hueto (Entrenador).
- Andreu Vivó (Gimnasta de nivel Internacional).
- Gervasio Defer (Gimnasta de nivel Internacional).
- Xavier Bàlius (Jefe del Departamento de Biomecánica).
- Antonio Turmo (Médico responsable del Equipo de Gimnasia).
- Bonifacio Cedrún (Jefe de la Unidad de Deportes y Apoyo).

C) Instituto de Biomecánica de Valencia.

- M^a Ángeles Morales (Entrenadora).
- Yolanda González (Entrenadora).
- 4 Gimnastas de nivel Nacional.

Anexo 2.- Encuesta utilizada en los ensayos biomecánicos.

GRUPO DE BIOMECÁNICA DEPORTIVA
ENCUESTA: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE LA COLCHONETA

DATOS PERSONALES. **CÓDIGO SUJETO°:** _____

Edad: _____ Peso: _____ Estatura: _____ Peso: _____
 Sexo: () Hombre () Mujer

DATOS TÉCNICOS

¿En que CATEGORÍAS ha desarrollado o desarrolla habitualmente su práctica deportiva?
 Internacional Nacional Autónomico Regional Aficionado

¿Cuántos AÑOS hace que práctica gimnasia? _____

Indique en que tipo de aparatos de gimnasia posee mayor relación o práctica:

DATOS SOBRE LA COLCHONETA QUE HA REALIZADO LOS SALTOS

Según su percepción, señale con una "X" la importancia que le da a los siguientes aspectos de la colchoneta de acuerdo a la siguiente escala: (1 MUY MALA, 2 MALA, 3 NI MALA NI BUENA, 4 BUENA, 5 MUY BUENA).

ASPECTOS A VALORAR	1	2	3	4	5
	(muy mala)	(mala)	(ni mala ni buena)	(Buena)	(muy Buena)
<i>Deformación</i>					
<i>Abrasión (Quemaduras pie)</i>					
<i>Retorno de energía (rebote)</i>					
<i>Estabilidad</i>					
<i>Velocidad de recuperación</i>					
<i>Juntas o bordes colchoneta</i>					
<i>Color y brillo</i>					

➤ Defina la sensación que le ha proporcionado la colchoneta durante la recepción.
 (Ejemplo: demasiado dura, inestable, buena amortiguación, seguridad, etc...).

.....

.....

.....

.....

.....

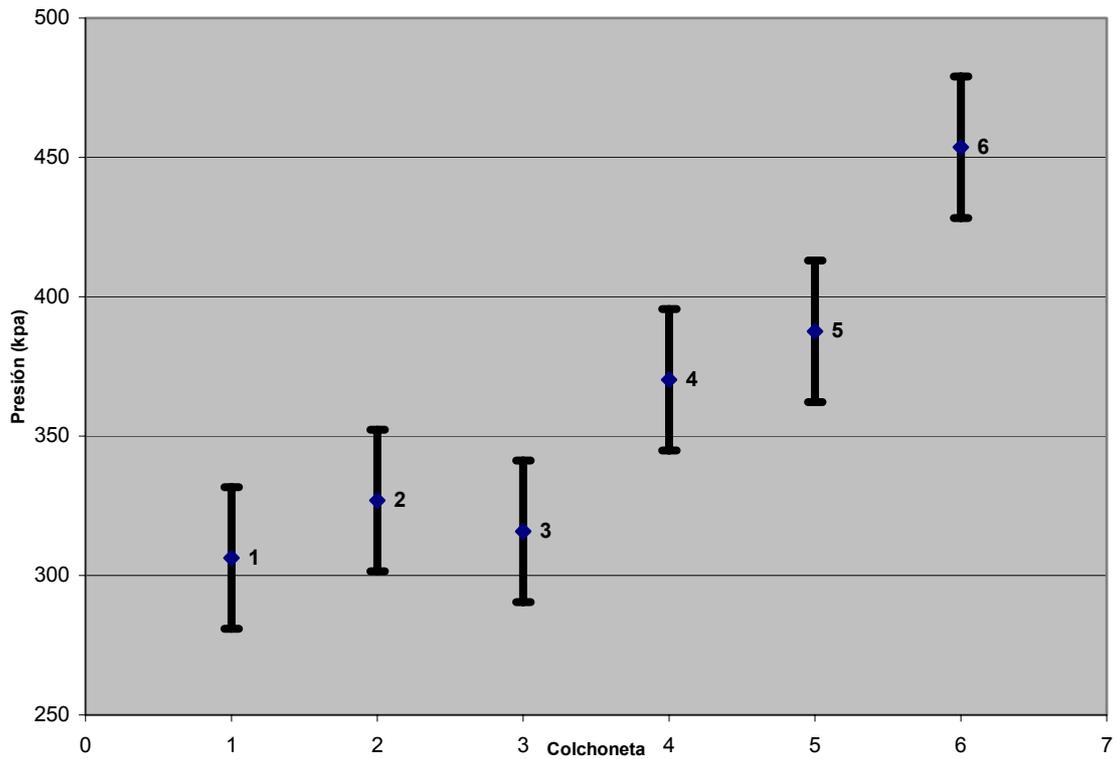
Señale con una cruz en el siguiente cuadro la LOCALIZACIÓN de las lesiones atribuibles a la práctica de la gimnasia deportiva. Además indique el NÚMERO DE VECES que le ocurrió y la GRAVEDAD de las lesiones (LEVE (L) no dejó la práctica deportiva; MEDIA (M) dejó menos de 20 días y GRAVE (G) dejó más de 20 días)

ZONA / LESIÓN	Esguince	Lesión en Tendones	Fisura	Fractura	Desgarro	Tirón muscular	Otras	Gravedad de la lesión y número de veces la ha padecido
<i>Pierna (Ant.)</i>								
<i>Pierna (Pos.)</i>								
<i>Ingle</i>								
<i>Tobillo</i>								
<i>Dorsal</i>								
<i>Muslo (Ant.)</i>								
<i>Muslo (Pos.)</i>								
<i>Talón</i>								
<i>Pie</i>								
<i>Rodilla</i>								
<i>Dedos (Pie)</i>								
<i>Cadera</i>								

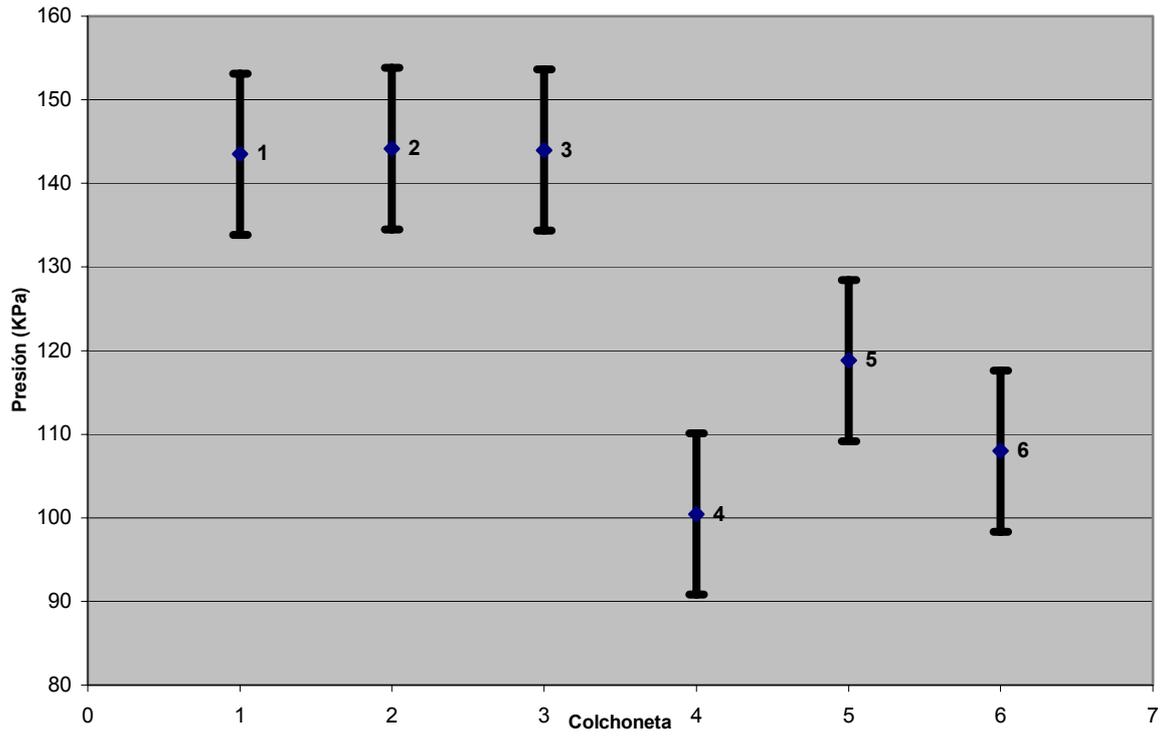
Anexo 3.- Valores medios de presión de cada zona del pie por colchoneta.

ZONA PIE	COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TIPICA	COEF.VARIACIÓN (%)
C1MT	C1	306.21	35.17	11.48
	C2	326.97	43.12	13.19
	C3	315.78	28.86	9.14
	C4	370.22	70.23	18.97
	C5	387.50	38.81	10.02
	C6	453.61	63.59	14.02
C5MT	C1	143.51	11.09	7.73
	C2	144.15	17.38	12.06
	C3	143.99	15.26	10.60
	C4	100.46	18.84	18.76
	C5	118.81	21.99	18.51
	C6	108.00	13.12	12.14
MTM	C1	185.49	23.25	12.53
	C2	198.64	25.68	12.93
	C3	181.35	23.44	12.92
	C4	172.27	18.50	10.74
	C5	204.56	25.12	12.28
	C6	179.08	24.14	13.48
PLMC	C1	136.07	16.70	12.27
	C2	207.10	55.08	26.60
	C3	176.10	44.71	25.39
	C4	143.34	26.94	18.79
	C5	141.50	25.69	18.16
	C6	95.87	23.29	24.30
PLME	C1	155.41	30.34	19.52
	C2	221.90	28.47	12.83
	C3	237.63	51.85	21.82
	C4	125.12	20.53	16.41
	C5	139.68	20.31	14.54
	C6	131.82	23.77	18.03
PLMI	C1	229.08	40.73	17.78
	C2	241.28	51.15	21.20
	C3	273.11	32.98	12.08
	C4	212.35	35.89	16.90
	C5	172.44	28.34	16.43
	C6	142.89	40.33	28.23
PRDD	C1	192.74	29.42	15.27
	C2	197.82	33.44	16.91
	C3	184.95	46.87	25.34
	C4	218.09	32.43	14.87
	C5	204.99	25.10	12.24
	C6	209.60	30.80	14.69
RDD	C1	83.17	13.14	15.79
	C2	120.46	12.01	9.97
	C3	87.59	13.47	15.38
	C4	109.87	9.94	9.05
	C5	120.44	12.41	10.31
	C6	89.26	10.97	12.29

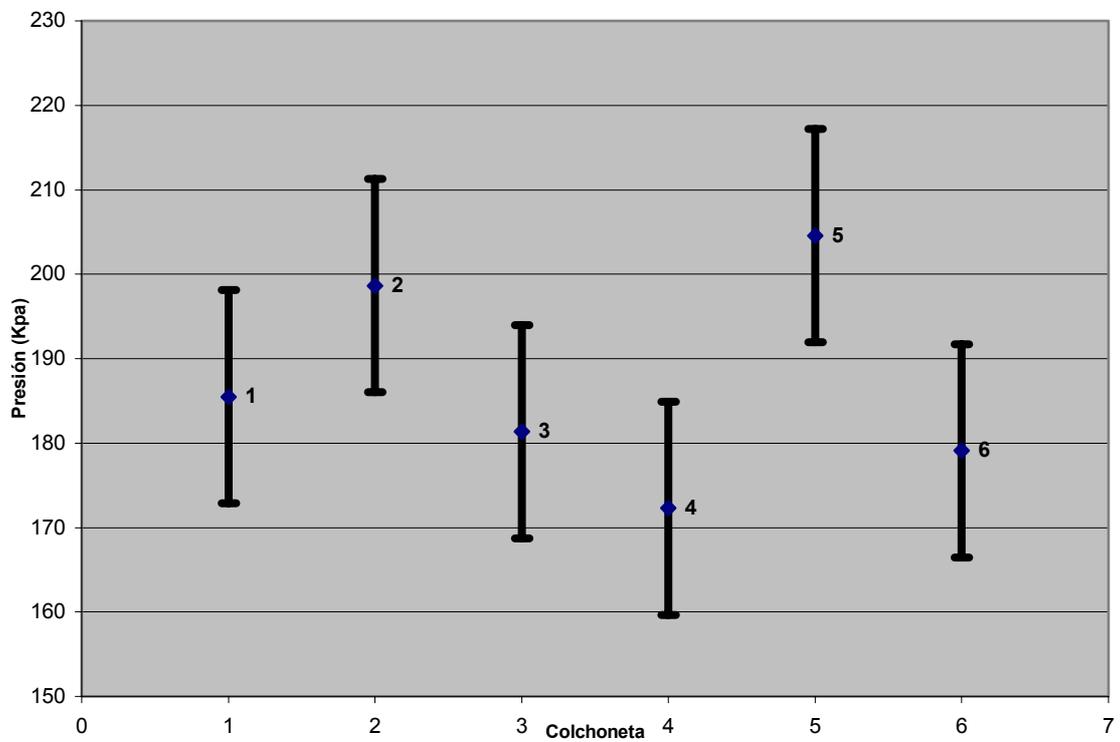
ZONA PIE	COLCHONETA	MEDIAS	DESV.TIPICA	COEF.VARIACIÓN (%)
TLC2	C1	695.98	167.64	24.09
	C2	723.48	169.43	23.42
	C3	584.90	107.34	18.35
	C4	645.48	144.64	22.41
	C5	738.01	194.87	26.41
	C6	779.21	156.71	20.11
TLE	C1	360.37	43.86	12.17
	C2	421.59	77.39	18.36
	C3	428.10	76.85	17.95
	C4	422.61	46.43	10.99
	C5	373.86	38.07	10.18
	C6	408.22	83.78	20.52
TLI	C1	570.29	106.11	18.61
	C2	665.18	112.42	16.90
	C3	612.54	81.14	13.25
	C4	461.76	80.34	17.40
	C5	423.53	86.88	20.51
	C6	424.43	141.63	33.37



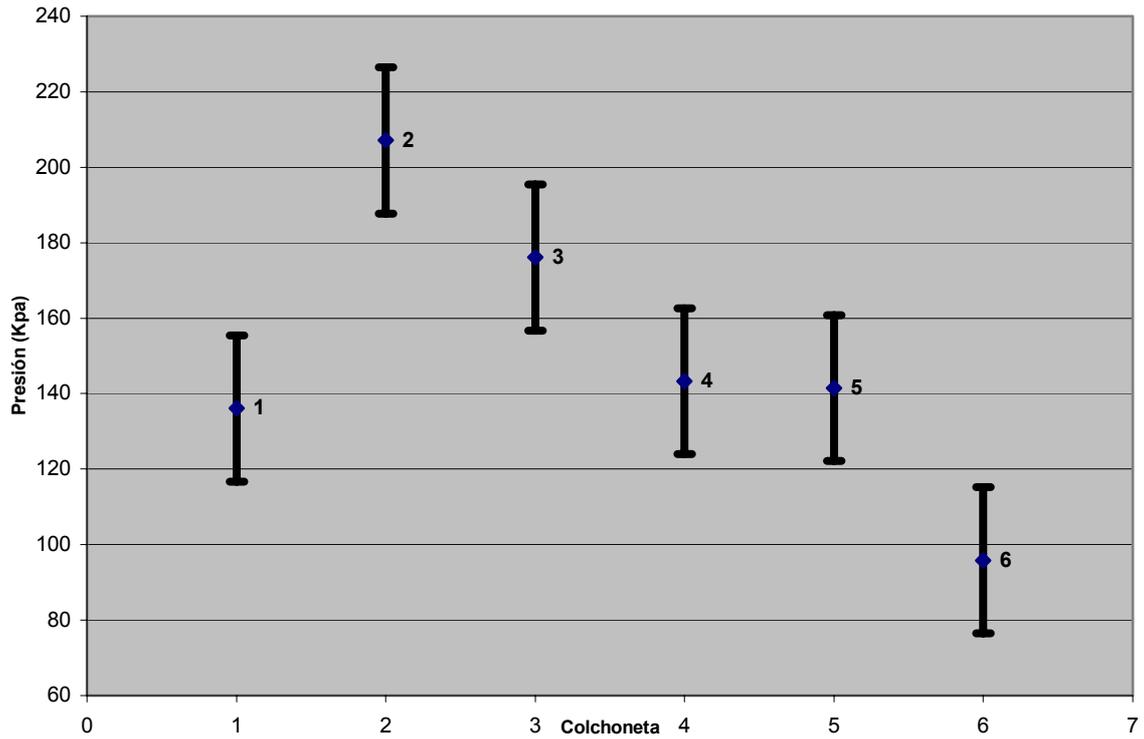
Valores medios de presión de la C1MT.



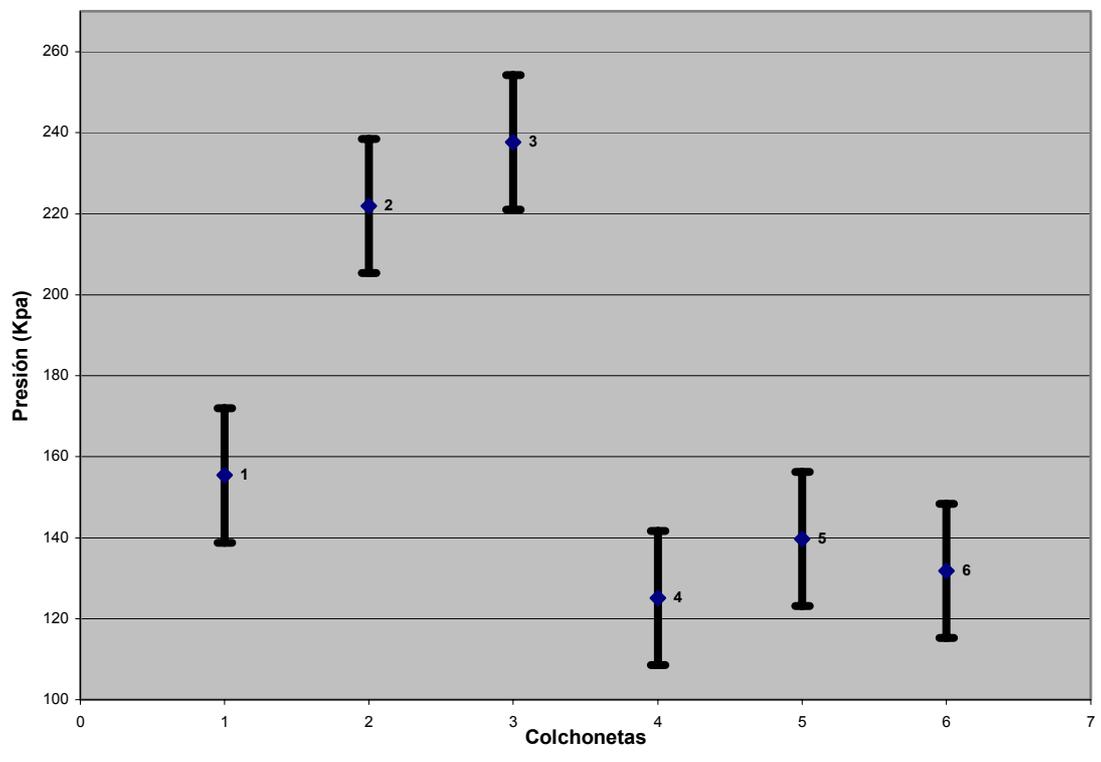
Valores medios de presión de la C5MT.



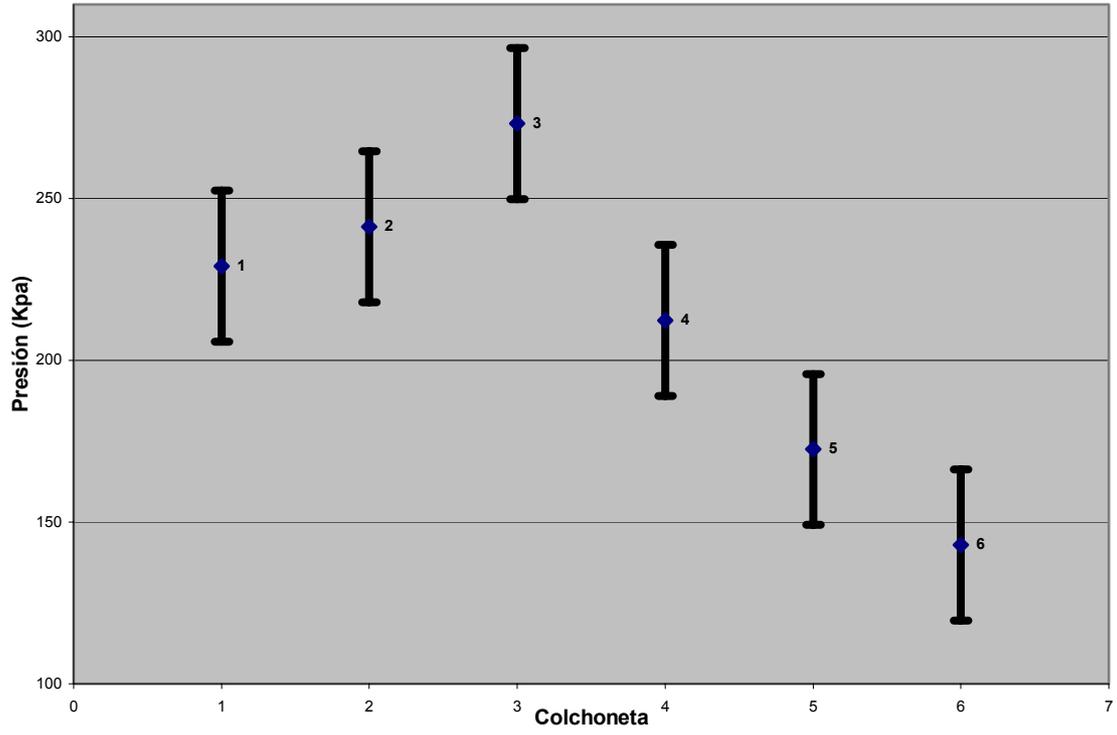
Valores medios de presión de la MTM.



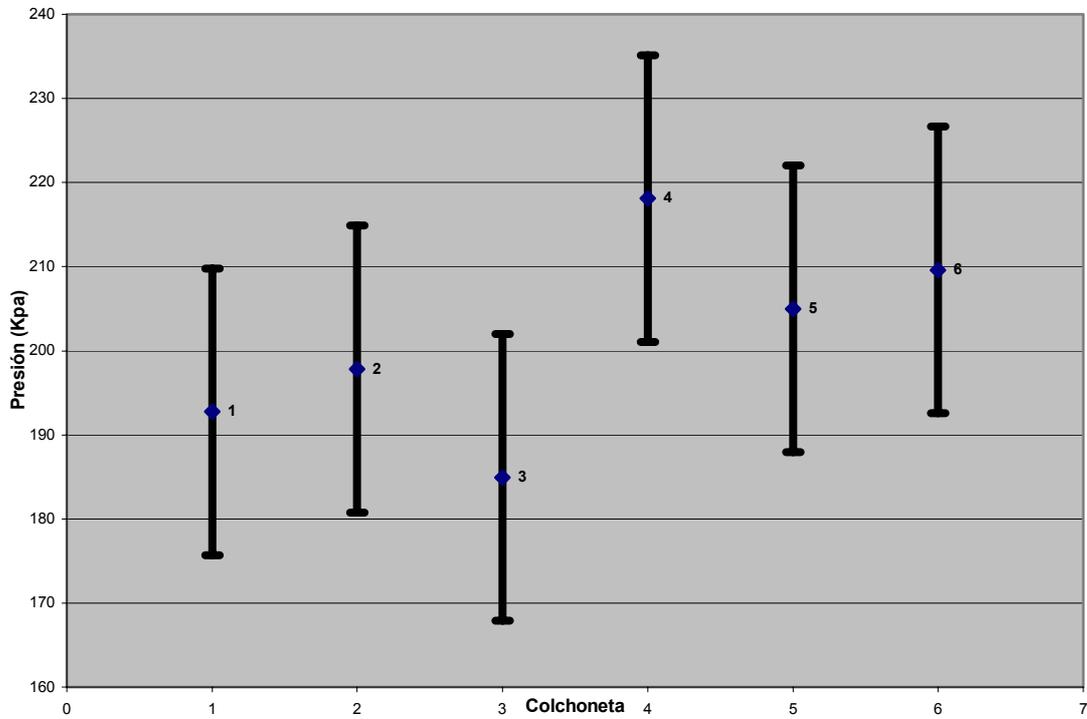
Valores medios de presión de la PLMC.



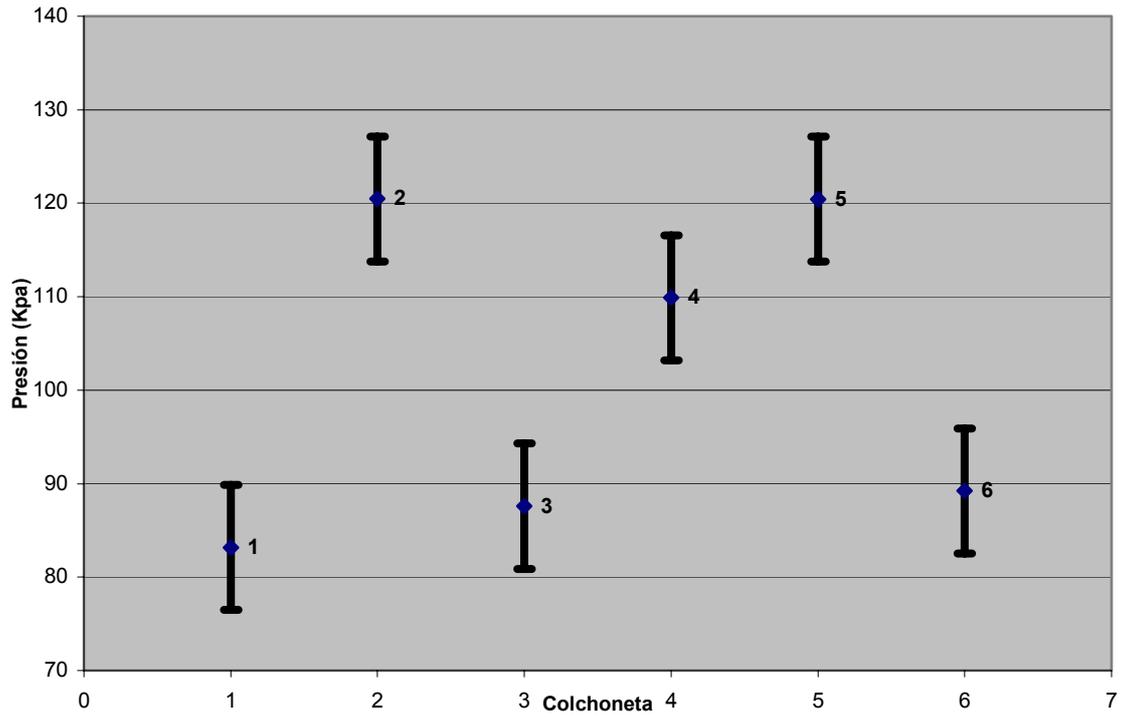
Valores medios de presión de la PLME.



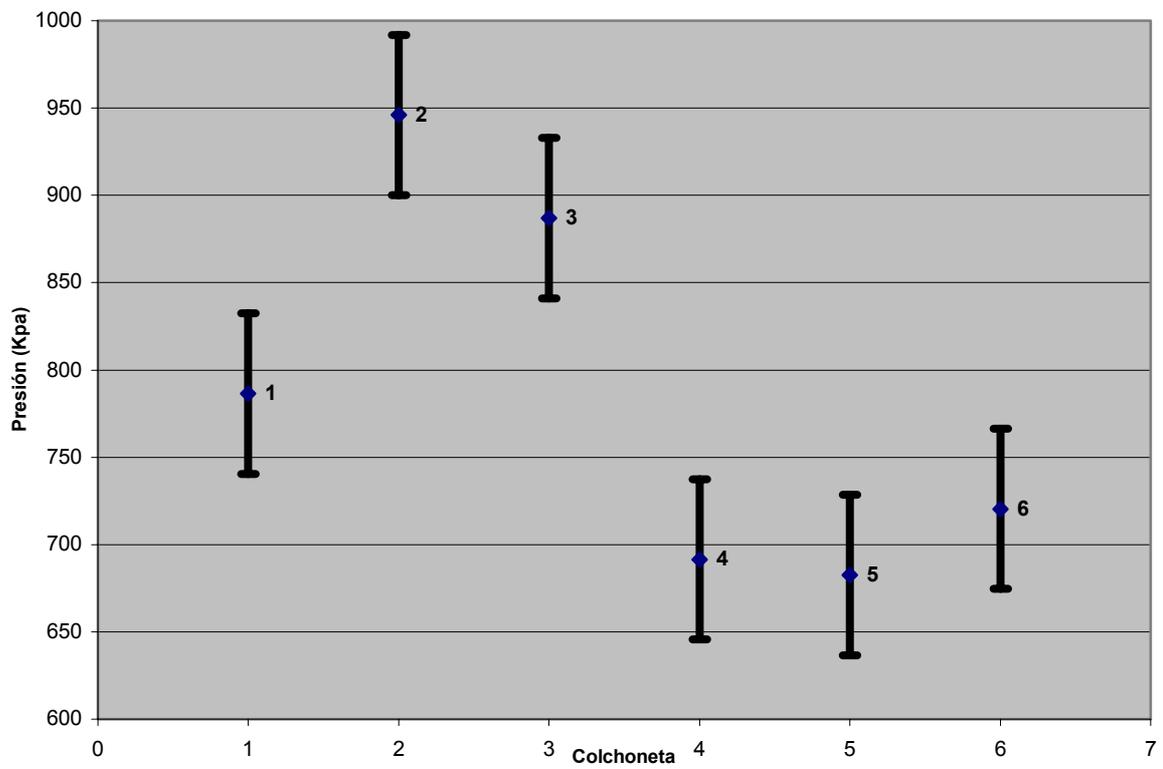
Valores medios de presión de la PLMI.



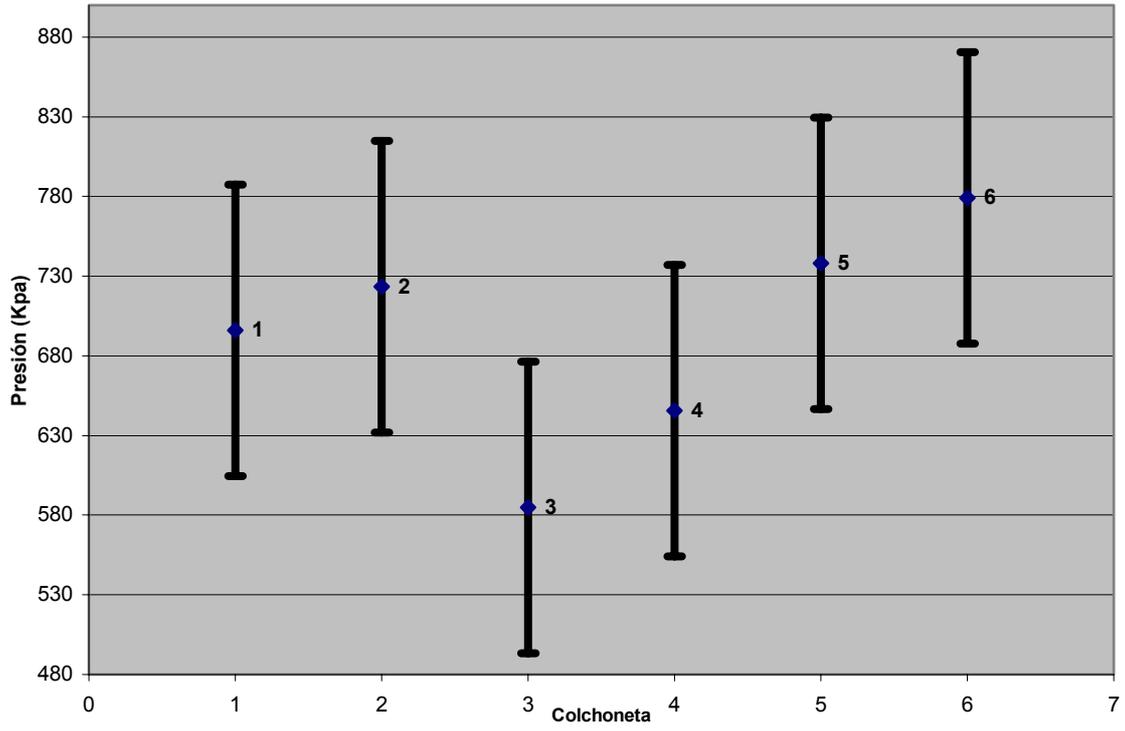
Valores medios de presión de la PrDD.



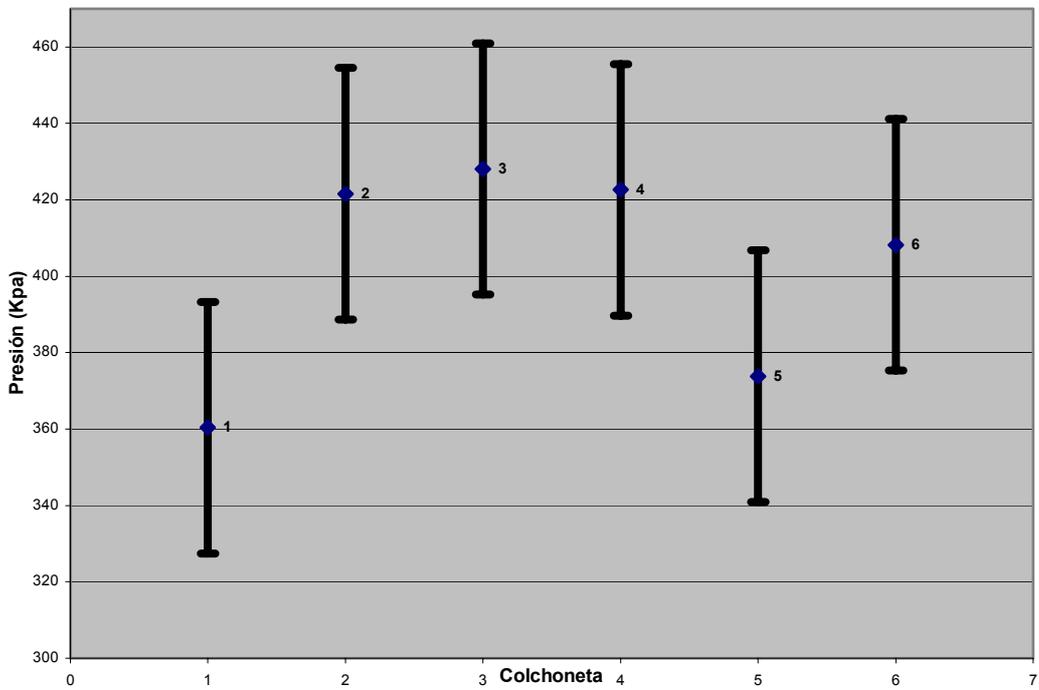
Valores medios de presión de la RDD.



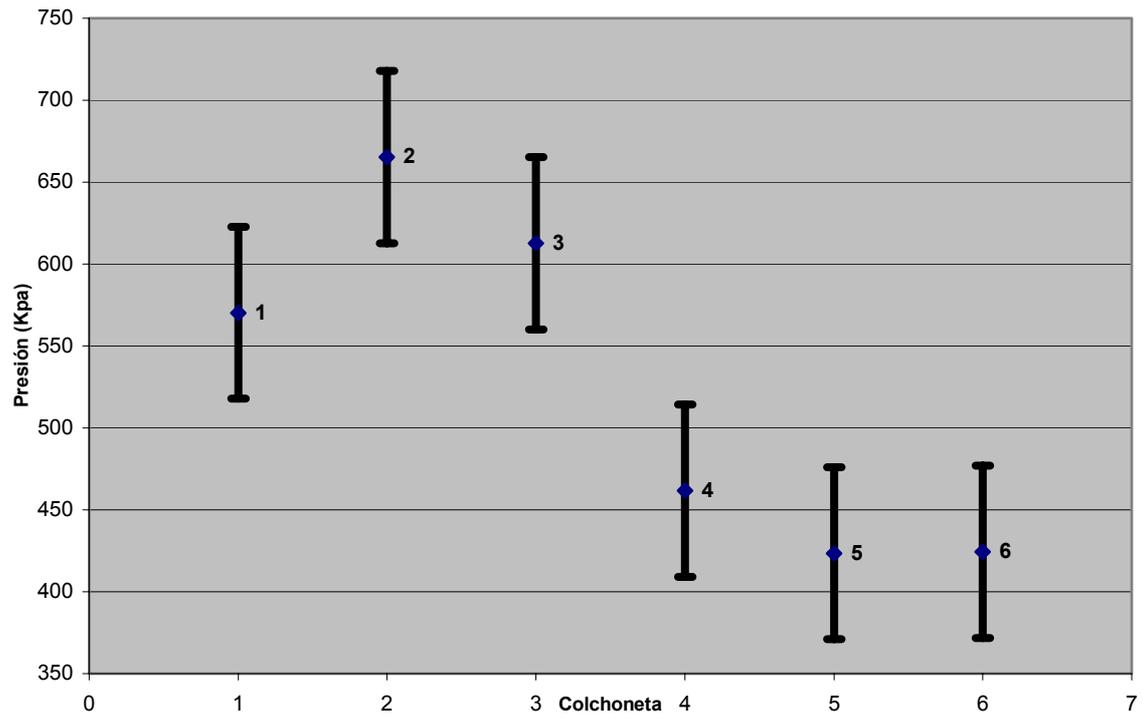
Valores medios de presión de la TLC.



Valores medios de presión de la TLC2.



Valores medios de presión de la TLE.



Valores medios de presión de la TLI.